Phys. sp. 618 sb (1

Siemens

<36624660080014

S

<36624660080014

Bayer. Staatsbibliothek

Phys. sp. 618

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ARBEITEN

VON

WERNER SIEMENS.

ERSTER BAND.

WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN UND VORTRÄGE.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND DEM BILDNISS DES VERFASSERS.

ZWEITE AUFLAGE.

BERLIN.
VERLAG VON JULIUS SPRINGER.
1889.

519 D

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

WERNER SIEMENS'

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ARBEITEN.



Verlag von Julius Springer in Berlin.

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ARBEITEN

VON

WERNER SIEMENS.

ERSTER BAND.

WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN UND VORTRÄGE.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND DEM BILDNISS DES VERFASSERS.

ZWEITE AUFLAGE.

BERLIN.
VERLAG VON JULIUS SPRINGER.
1889.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Vorbemerkung.

Nachdem die von der Unterzeichneten veranstaltete Ausgabe der Abhandlungen und Vorträge von Werner Siemens ihrer wissenschaftlichen und technischen Bedeutung halber, in weiten Kreisen mit Interesse aufgenommen worden ist, gereicht es derselben zur Genugthuung, dass sie die Genehmigung zu einer zweiten, aus drei Bänden bestehenden Ausgabe fand, welche einen erschöpfenden Einblick in die gesammte wissenschaftliche und praktische Lebensthätigkeit dieses als Gelehrten wie als Industriellen gleich hervorragenden Zeitgenossen zu gewähren bestimmt ist.

Der erste Band enthält die durch ältere und neuere Arbeiten vervollständigten wissenschaftlichen Abhandlungen und Vorträge der ersten Auflage.

Im zweiten Bande sind technische Ausarbeitungen mit solchen Aufsätzen vereinigt, welche die wirthschaftliche und industrielle Entwickelung, sei es unseres Vaterlandes, sei es der gesammten Culturwelt, zum Vorwurf nahmen und, wenngleich bestimmten Anlässen entsprungen, doch anerkanntermassen einen dauernden Werth in Anspruch nehmen. In einem Anhang wird dieser Band die Beschreibung einer Reihe von Instrumenten, Apparaten und Erfindungen enthalten, welche von dem Verfasser ausgegangen sind und für den Fortschritt der Technik von Bedeutung waren.

Der dritte Band wird, ausgehend von der Darstellung des aussergewöhnlichen Lebensganges Werner Siemens', die mit demselben eng verknüpfte Entwickelung des von ihm begründeten Welthauses Siemens & Halske mit seinen Töchterhäusern schildern und einen Ueberblick über die Mitwirkung desselben bei der Entwickelung der Elektrotechnik zu ihrer jetzigen Bedeutung gewähren.

Berlin, Oktober 1888.

Die Verlagshandlung.

Inhaltsverzeichniss des ersten Bandes.

Seite

1. Ueber die Anwendung der erhitzten Luft als Triebkraft. (1845.) 1
2. Anwendung des elektrischen Funkens zur Geschwindigkeitsmessung. (1845.) 8
3. Ueber telegraphische Leitungen und Apparate. (1850.) 15
4. Mémoire sur la télégraphie électrique. (1850.) 30
5. Ueber die Beförderung gleichzeitiger Depeschen durch einen telegraphischen Leiter. (1856.) . 60
6. Beantwortung der Bemerkungen von Edlund über die Beförderung gleichzeitiger Depeschen. (1856.) 75
7. Berichtigung der Schlussworte des Herrn Edlund: Ueber das telegraphische Gegensprechen. (1857.) 79
8. Ueber die elektrostatische Induction und die Verzögerung des Stromes in Flaschendrähten. (1857.) . 82
9. Umriss der Principien und des praktischen Verfahrens bei der Prüfung submariner Telegraphenleitungen auf ihren Leitungszustand. (1860.) 128
10. Beschreibung ungewöhnlich starker elektrischer Erscheinungen auf der Cheops-Pyramide bei Kairo während des Wehens des Chamsins. (1860.) 149
11. Vorschlag zu einem reproducirbaren Widerstandsmasse. (1860.) 153
12. Ueber Widerstandsmasse und die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Wärme. (1861.) 170
13. Widerstands-Etalon. (1863.) . 181
14. Ueber Erwärmung der Glaswand der Leydener Flasche durch die Ladung. (1864.) . 182
15. Zur Frage der Widerstands-Einheit. (1866.) 184
16. Ueber das Bewegungsgesetz der Gase in Röhren. (1866.) 197
17. Methode für fortlaufende Beobachtungen der Meerestemperatur bei Tiefenmessungen. (1866.) . 206
18. Ueber die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne permanente Magnete. (1867.) 208
19. Directe Messung des Widerstandes galvanischer Ketten. (1874.) 211
20. Antrittsrede des Herrn Siemens und Antwort des Herrn du Bois Reymond, Secretars der phys.-mathem. Klasse. (1874.) 217
21. Ueber die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit der Kohle von der Temperatur. (1874.) . 223
22. Beiträge zur Theorie der Legung und Untersuchung submariner Telegraphenleitungen. (1874.) . 234

Seite

23. Ueber den Einfluss der Beleuchtung auf die Leitungsfähigkeit des krystallinischen Selens. (1875.) 258
24. Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in suspendirten Drähten. (1875.) . 260
25. Ueber die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit des Selens von Wärme und Licht. I. Theil. (1876.) 270
26. Ueber die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit des Selens von Wärme und Licht. II. Theil. (1877.) 290
27. Ueber die von Hrn. Fritts in New-York entdeckte elektromotorische Wirkung des beleuchteten Selens. (1877.) 311
28. Physikalisch-mechanische Betrachtungen, veranlasst durch eine Beobachtung der Thätigkeit des Vesuvs im Mai 1878 314
29. Beiträge zur Theorie des Elektromagnetismus. (1881.) 334
30. Ueber das Leuchten der Flamme. (1882.) 353
31. Ueber die Zulässigkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentials und dessen Bedeutung zur Erklärung terrestrischer Phänomene. (1883.) 358
32. Beiträge zur Theorie des Magnetismus. (1884.) 380
33. Ueber eine Einrichtung zur Darstellung der von der Pariser Conferenz zur Bestimmung der elektrischen Einheiten angenommenen Lichteinheit. (1884.) . 397
34. Ueber elektrische und Lichteinheiten nach den Beschlüssen der Pariser internationalen Conferenz. (1884.) 399
35. Ueber die Erhaltung der Kraft im Luftmeere der Erde. (1886.) 404
36. Zur Frage der Luftströmung. (1887.) 418

Ueber die

Anwendung der erhitzten Luft als Triebkraft.

(Dingler's polyt. Journal Bd. 97 S. 324.)

1845.

In England erregt jetzt eine Maschine, die durch erhitzte Luft betrieben wird und seit einiger Zeit mit dem grössten Erfolg in Dundee in Thätigkeit ist, viel Aufsehen. Da dieselbe viel einfacher ist als eine Dampfmaschine, einen weit kleineren Raum einnimmt und nur eine verhältnissmässig sehr unbedeutende Menge Brennmaterial verbraucht, so verdient sie mit Recht die grösste und allgemeinste Berücksichtigung.

Der Gedanke, die grosse Kraft, mit der eingeschlossene Luft bei ihrer Erwärmung sich auszudehnen strebt, als Triebkraft zu benutzen, ist nicht neu. Die Aufmerksamkeit der Techniker musste auch um so mehr dadurch auf sie gelenkt werden, dass der theoretische Nutzeffect einer bestimmten Wärmemenge, zur Erhitzung der Luft verwandt, fast dreimal so gross ist, als wenn sie zur Erzeugung von Wasserdämpfen diente. Dass die Aussicht auf eine so bedeutende Ersparung an Brennmaterial bisher dennoch keine brauchbare, durch erhitzte Luft bewegte Maschine hervorzurufen vermochte, mag wohl seinen Grund hauptsächlich in den Schwierigkeiten finden, die mit der hierbei erforderlichen schnellen Erwärmung und Wiederabkühlung einer beträchtlichen Luftmenge verknüpft schienen.

Ueber die Art, wie dies bei der obenerwähnten Maschine geschieht, und wie die Maschine durch eine solche Temperaturveränderung der Luft bewegt wird, habe ich eine kurze briefliche Mittheilung aus England erhalten. Da mir indess leider alle Angaben über die specielle

Construction der Maschine fehlen, so kann die Zeichnung Fig. 1 auch keineswegs als eine Abbildung derselben angesehen werden. Sie soll nur als Anhalt dienen, um das ihr zum Grund liegende Princip möglichst anschaulich machen zu können.

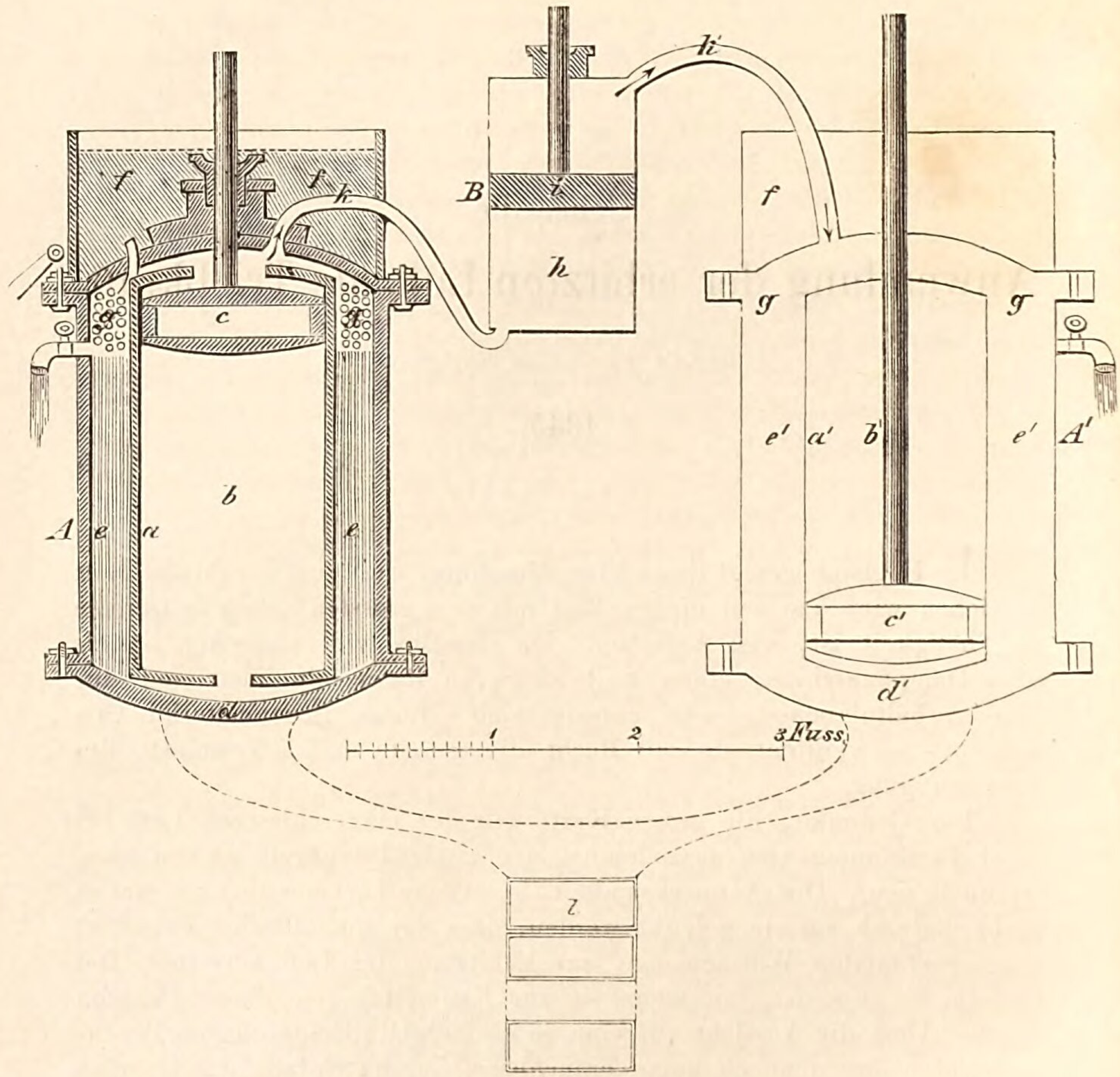


Fig. 1.

Im Wesentlichen besteht die Maschine aus drei geschlossenen, oben mit Stopfbüchsen versehenen Cylindern *A*, *A'* und *B*. Die in den Cylindern *A* und *A'* eingeschlossene und beliebig, aber in beiden gleichmässig comprimirte Luft wird abwechselnd erwärmt und wieder abgekühlt. Dadurch wird ihre Spannkraft in entsprechendem Maasse vermehrt und vermindert und mit dem Druck, der aus der Differenz

der gleichzeitig in beiden Cylindern obwaltenden Spannungen sich ergibt, der Kolben im Cylinder *B* bewegt.

Im Innern eines jeden der beiden Cylinder *A* und *A'* befindet sich ein zweiter kleinerer Cylinder *a*, *a'*, in welchem sich ein Kolben *c*, *c'* auf und nieder bewegt. Dadurch entstehen also Doppelcylinder, zwischen deren Wänden sich ein freier Raum befindet. Im oberen und unteren Boden der inneren Cylinder sind Oeffnungen angebracht, vermittelst welcher die in ihnen eingeschlossene Luft mit der zwischen den Wänden der Doppelcylinder befindlichen frei communiciren kann. Wird nun der Kolben *c* niederbewegt, so muss die unter ihm befindliche Luft aus der Oeffnung *d* entweichen, zwischen den Wänden beider Cylinder hinaufsteigen und durch die obere Oeffnung in den inneren Cylinder zurückkehren, um den leerwerdenden Raum über dem Kolben einzunehmen. Bewegt sich der Kolben dagegen wieder aufwärts, so muss sie denselben Weg in umgekehrter Richtung durchlaufen, um wieder unter jenen zu gelangen. Der Raum zwischen den Wänden beider Cylinder, durch den also die gesammte im inneren Cylinder enthaltene Luftmenge bei jedem Kolbenhube hinausströmen muss, ist grösstentheils durch ein System von guten Wärmeleitern *e* ausgefüllt, durch welches sie gezwungen wird, auf ihrem Weg mit einer grossen wärmeleitenden Fläche in Berührung zu treten. Hierzu würden sich wohl am besten dünne, in concentrischen Lagen mit geringem Abstand von einander den Raum zwischen beiden Cylindern ausfüllende Kupferbleche eignen. Der Boden der beiden äusseren Cylinder *A* und *A'* wird durch eine Feuerung erhitzt, die Decke derselben dagegen durch einen darüber angebrachten Wasserbehälter *f* abgekühlt. Von diesem geht ein Schlangenrohr *g* aus, welches den oberen Theil des Zwischenraumes zwischen beiden Cylindern in engen Windungen ausfüllt und stets von kaltem Wasser durchflossen wird.

Wird nun der Kolben *c* niederbewegt, so erhitzt sich die Luft beim Hinwegstreichen über dem heissen Boden. Sie muss aber diese Wärme an die Metallbleche abgeben, zwischen denen sie in sehr dünnen Schichten hindurchzugehen genöthigt ist. Der geringe Ueberrest derselben, den sie noch behalten hat, wenn sie hindurch ist, wird ihr durch das Schlangenrohr und die kalte Decke entzogen. Sie gelangt also vollkommen abgekühlt in den inneren Cylinder. Wird der Kolben nun wieder aufwärts bewegt, so muss sie von Neuem zwischen den vorhin erwärmten Metallblechen, aber in umgekehrter Richtung, hindurchgehen. Sie trifft dabei während ihres Laufs auf immer wärmere Schichten und gelangt, durch die nahe Berührung mit denselben schon ziemlich erwärmt, über dem erhitzten Boden an, von dem sie einen abermaligen Zuschuss an Wärme erhält. Durch mehrmaliges Auf- und Niederbewegen des Kolbens *c* wird nun bald ein constantes Temperaturverhältniss der Bleche und der über und unter jenem befindlichen

Luft herbeigeführt werden. Die heisse Luft gibt dann bei ihrem Hinaufsteigen gerade so viel Wärme an die Bleche ab, wie sie bei dem darauf folgenden Hinabgehen wieder von denselben aufnimmt. Durch die Feuerung ist also keineswegs die gesammte zur jedesmaligen Erwärmung der abgekühlten Luft erforderliche Wärmemenge herzugeben, sondern nur der kleine Theil derselben, der durch das Röhrensystem verschluckt und durch Leitung etc. verloren gegangen ist.

Von der Decke der beiden Cylinder A und A' gehen zwei Röhren k und k' nach dem oberen und unteren Ende des Cylinders B. Der in diesem befindliche Kolben i muss daher durch die Spannkraft der in A eingeschlossenen Luft in die Höhe, durch die der im Cylinder A' befindlichen niedergedrückt werden. Gesetzt nun, der Kolben c wäre an dem höchsten, der Kolben c' dagegen am tiefsten Punkt seines Laufes angekommen und die Erhitzung der Luft im Cylinder a betrüge ungefähr 230° C., so würde ihre Spannkraft dadurch verdoppelt sein. Waren also z. B. die Cylinder mit Luft von sechsfacher Dichtigkeit gefüllt, so würde jetzt die in A enthaltene den Kolben i mit zwölf Atmosphären in die Höhe, die in A' enthaltene ihn dagegen mit sechs Atmosphären niederdrücken. Er würde also mit einer dem Druck von sechs Atmosphären entsprechenden Kraft aufwärts bewegt. Wird nun die Auf- und Niederbewegung der Kolben c und c' so durch die Maschine selbst bewerkstelligt, dass c und c' ihren Hub vollendet haben, wenn i seinen halben Lauf zurückgelegt hat, so wird die den letzteren bewegende Kraft stets ihr Maximum erreicht haben, wenn seine Bewegung am schnellsten ist. Hat er hingegen seinen Wendepunkt erreicht, so sind c und c' in der Mitte ihres Laufes angekommen. Die in den Cylindern A und A' enthaltene Luft ist dann halb erwärmt und halb abgekühlt, und ihre Spannkraft daher in beiden gleich. Der Kolben i kann demzufolge mit Hülfe des Schwungrads seinen todten Punkt überwinden, ohne dass eine einseitig auf ihn wirkende Kraft ihn daran hindert. Da aber mit dem Beginn seiner Bewegung in entgegengesetzter Richtung durch die gleichzeitige Fortbewegung der Kolben c und c' auch die Triebkraft wieder entsteht und in sehr raschem Verhältniss zunimmt, so ist der Fortgang der Maschine gesichert, ohne dass es nöthig wäre, durch Ventile oder Schieber die Einströmung der Luft in den Triebcylinder zu reguliren.

Da in den oberen Teil der Cylinder A und A' und mithin auch in den Triebcylinder B nur immer kalte Luft gelangen kann, so muss auch die Dichtung der Stopfbüchsen und des Kolbens i sehr vollkommen, selbst bei noch höheren Spannungen wie hier angenommen ist, hergestellt werden können. Dazu kommt noch, dass sich erfahrungsmässig gegen Luft weit besser dichten lässt als gegen Dampf. Für die Kolben c und c' würde ein vollkommen luftdichter Gang, der hohen Temperatur der unter ihnen befindlichen Luft wegen, weit

schwieriger herzustellen sein. Für diese ist aber ein solcher gar nicht erforderlich, da der Unterschied in der Spannung der über und unter ihnen befindlichen Luft nur immer sehr gering, nämlich dem Widerstand entsprechend sein kann, der durch das Hindurchtreiben derselben durch die zwischen den Blechen und Röhren befindlichen Zwischenräume hervorgerufen wird. Diese Kolben müssten indess hohl und mit schlechten Wärmeleitern ausgefüllt sein, damit sie der über ihnen befindlichen kalten Luft nicht durch Leitung eine beträchtliche Wärmemenge zuführen können. Die dennoch durch die Stopfbüchsen entweichende Luft kann leicht durch stetes Nachpumpen ersetzt werden.

Es würde theoretisch richtiger sein, den Cylinder *B* stets mit heisser Luft zu füllen; doch wird der obenerwähnte, mit der Anwendung der kalten Luft verbundene Vortheil der besseren Dichtung gewiss unter allen Umständen wichtiger sein, als der daraus hervorgehende Nachtheil der unnöthigen Vergrösserung der Cylinder *A* und *A'* und der durch diese herbeigeführten geringen Vermehrung des zur Erzielung derselben Triebkraft erforderlichen Brennmaterials. Dass der Verbrauch des letzteren aber bei dieser Maschine nur sehr gering sein kann im Vergleich mit dem zur Heizung einer Dampfmaschine von gleicher Kraft erforderlichen, wird aus dem bisher Gesagten schon hinlänglich klar geworden sein. Die obenerwähnte Maschine in Dundee bestätigt dies auch vollkommen. Sie arbeitet mit 26 Pferdekräften und macht 30 Umgänge in der Minute. Dabei verbraucht sie 5 Pfd. Kohlen, während die früher dort aufgestellte, gleich starke Dampfmaschine 26 Pfd. consumirt. Da indess die Wärme der dort auf 300° C. erhitzten Luft so vollständig durch das System der Wärmeleiter absorbirt wird, dass sie nur noch um 3° wärmer sein soll als das Kühlwasser, wenn sie bis zu den mit diesem angefüllten Röhren gelangt ist, und da also die Feuerung die Luft auch dem Anschein nach nur um dieselbe geringe Anzahl von Graden zu erwärmen brauchte, so ist dieser Verbrauch an Brennmaterial immer noch unverhältnissmässig gross. Dies hat aber seinen Grund in der bei der Construction der Maschine wahrscheinlich nicht berücksichtigten Eigenschaft der Luft, sich bei ihrer Verdichtung zu erhitzen. Wenn nämlich die in *a* befindliche erhitzte Luft den Kolben im Cylinder *B* hinauftreibt, so muss sie diesen ausfüllen. Dadurch wird ihre Dichtigkeit aber vermindert und demzufolge auch ihre Temperatur. Die hiedurch gebundene Wärme kann von den Blechen nicht absorbirt werden; sie gelangt daher mit der abgekühlten Luft in den Cylinder *a* zurück und wird hier dadurch wieder frei, dass durch die Niederbewegung des Kolbens *i* das frühere Dichtigkeitsverhältniss wieder hergestellt wird. Die hierdurch schon beträchtlich erwärmte Luft muss aber erst zwischen den Windungen des Schlangenrohrs hindurchgehen, ehe sie durch die Metallbleche von Neuem erhitzt werden kann. Die gesammte freigewordene Wärme-

menge wird daher von dem kalten Wasser verschluckt und muss also durch die Feuerung ersetzt werden. Dieser beträchtliche Wärmeverlust liesse sich aber grösstentheils sehr leicht dadurch vermeiden, dass man den Weg der Luft durch Ventile so regulirte, dass sie nur einmal, nämlich bei ihrem Hinaufsteigen, durch das Röhrensystem hindurchzugehen brauchte, bei ihrer Rückkehr hingegen dasselbe umginge, und sogleich, also in schon erwärmtem Zustand, die Bleche passiren müsste. Hierdurch bliebe der grösste Theil der wieder freigewordenen Wärme in Thätigkeit und der Brennmaterialverbrauch liesse sich demzufolge noch bedeutend vermindern.

Gänzlich lässt sich dieser Wärmeverlust aber hierdurch doch nicht beseitigen, da durch die höhere Temperatur der nun direct zu den Blechen geführten Luft dieser die Fähigkeit genommen ist, die oberen Theile der Bleche vollständig abzukühlen. Sie kann daher auch ihrerseits beim Zurückgehen nicht vollständig wieder von denselben abgekühlt werden, und muss den Temperaturüberschuss, der ihr dadurch verbleibt, jetzt an die Röhren abgeben. Ferner muss die durch Leitung fortwährend in den Blechen und Cylinderwänden in die Höhe geführte Wärme von dem Kühlwasser fortwährend absorbirt und daher durch die Feuerung ersetzt werden. Wenn diese nothwendig zu ersetzende Wärmemenge auch in Vergleich zu derjenigen, welche eine Dampfmaschine erfordert, nur sehr unbedeutend zu nennen ist, so ist sie doch gross genug, um den Gedanken zurückzudrängen, sie durch die Maschinenkraft selbst, z. B. durch Reibung oder stetes Hineinpumpen von Luft in die unteren und Entweichenlassen derselben aus den oberen Theilen der Cylinder A und A' ersetzen zu können.

Anstatt der atmosphärischen Luft könnte man auch jede andere Gasart zum Betrieb der Maschine anwenden. Man würde dadurch noch den bedeutenden Vortheil erzielen können, die Oxydation der unteren erhitzten Theile der Cylinder A und A', im Inneren wenigstens, gänzlich zu verhindern. Dies wäre z. B. dadurch schon ohne grosse Schwierigkeiten zu erreichen, dass man die zur ersten Füllung und zum späteren Nachpumpen bestimmte Luft aus derjenigen schöpfte, welcher bereits durch das Brennmaterial der grösste Theil ihres Sauerstoffs entzogen ist und dieselbe noch, um sie gänzlich davon zu befreien, durch glühende Eisenbleche strömen liesse.

Dass sich bei der Ausführung einer solchen Maschine noch Schwierigkeiten aller Art einfinden werden, ist, wie bei jeder neuen Sache, so auch hier vorauszusehen. Auch an Widersachern aller Art wird es nicht fehlen! Mögen aber die zu besiegenden Schwierigkeiten auch Anfangs noch so gross erscheinen, die mit so reichen Hülfsmitteln begabte Technik unserer Tage hat deren schon grössere zu überwinden gewusst! Die theoretische Grundlage der Maschine liegt zu klar vor Augen, als dass sich begründete Zweifel gegen ihre Richtigkeit erheben

könnten, und durch die Erfahrung ist bereits glänzend erwiesen, dass kein versteckter Fehler in der Rechnung vorhanden sein kann, der den aus ihr gefolgerten Effect vernichten könnte. Wenn man aber bedenkt, welch ungemeinen Aufschwung Industrie und Verkehr durch eine so bedeutende Verminderung des Preises der Arbeitskraft, wie sie hier in Aussicht steht, nehmen müssten, und welcher Gewinn der gesammten Menschheit aus einer jedenfalls sehr beträchtlichen Verminderung des Verbrauchs an Brennmaterial erwachsen würde, so wird man nicht umhin können, diese Erfindung für eine der bedeutsamsten unserer Zeit zu erklären, und in den Wunsch mit einzustimmen, dass man dieselbe bald, besonders aber in Deutschland, wo ihre Benutzung durch kein Privilegium beschränkt ist, mit aller Kraft ergreifen und ins Leben führen möge, um so wohlbegründete Aussichten auf einen neuen grossartigen Fortschritt baldmöglichst zu verwirklichen!

Anwendung des elektrischen Funkens zur Geschwindigkeitsmessung.

(Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie Bd. 66 S. 435.)

1845.

Es hat sich neuerdings ein Prioritätsstreit über die Idee, die Bewegungsgeschwindigkeit der Projectile mittelst des galvanischen Stromes zu messen, erhoben. Aus den dort gemachten Zeitangaben ergibt sich jedoch, dass in der preussischen Artillerie schon viel früher ein derartiger Plan aufgestellt und in's Leben gerufen wurde. Da der zu diesem Behufe gefertigte und noch jetzt im Gebrauch befindliche Apparat noch in keiner wissenschaftlichen Zeitschrift beschrieben, wenn auch seiner Zeit in einigen Tagesblättern ausführlich besprochen ist, so werde ich einige Worte über den Ursprung und die erste Ausführung der Idee, die Bewegungsgeschwindigkeit der Geschosse mit Hülfe des galvanischen Stromes, und namentlich des Elektromagnetismus, zu messen, vorausschicken. Die Richtigkeit dieser Angaben würde sich sowohl durch die Acten der betreffenden Behörde, wie durch die einigen fremden Gesandten, namentlich den französischen und russischen, auf ihr Ansuchen gemachten officiellen Mittheilungen über diesen Gegenstand erweisen lassen.

Der grosse Werth, welchen die genaue Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit der Geschosse für die Artillerie hat, und die grossen Mängel, welche den bisher zu diesem Behufe benutzten Instrumenten und namentlich dem ballistischen Pendel anhaften, veranlassten die Artillerie-Prüfungs-Commission zu Berlin zur Betretung eines ganz verschiedenen Weges, nämlich der directen Messung der Flugzeit des Projectils mittelst eines elektromagnetischen Apparats. Schon im Jahre 1838 war dieser Plan von der genannten Commission vollständig ausgearbeitet. Er bestand darin, dass eine Uhr erbaut werden sollte,

welche sich zur Angabe sehr kleiner Zeittheile eignete und durch magnetische Kraft engagirt und arretirt werden könnte. Der hiesige Uhrmacher Herr Leonhard ward mit dem Bau derselben beauftragt und begann ihn im Februar 1839. Die grossen technischen Schwierigkeiten, welche sich der Anfertigung einer solchen, die Ablesung von $^1/_{1000}$ Secunden gestattenden Instrumentes entgegensetzten, machten bedeutende Modificationen des ursprünglichen Planes und viele zeitraubende Versuche erforderlich. Dem Eifer und der grossen Geschicklichkeit des Herrn Leonhard gelang es indess, dies Werk endlich zur völligen Zufriedenheit und so herzustellen, wie es noch jetzt bei den Versuchen der Artillerie-Prüfungs-Commission in Gebrauch ist. Im Wesentlichen besteht es aus einem conischen Pendel, welches durch ein Uhrwerk in kreisförmiger Schwingung erhalten wird. — Ein Beobachtungszeiger kann durch Bewegung eines Hebels mit diesem in stetem und gleichförmigem Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und ebenso wieder von ihm getrennt und festgestellt werden.

Diese Engagirung und Arretirung des Beobachtungszeigers suchte man bei den im Jahre 1842 mit dieser Uhr angestellten Versuchen dadurch zu bewerkstelligen, dass die Kugel beim Hinaustreten aus der Mündung des Geschützes einen elektrischen Strom herstellte, durch welchen der Magnetismus eines Elektromagneten erregt und der Anker angezogen wurde. Durch die Bewegung des Ankers wurde der Beobachtungszeiger mit dem im Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und daher in Bewegung gesetzt. — Wenn die Kugel am Ziele anlangte, so wiederholte sich dasselbe Spiel mit einem zweiten Elektromagneten, wodurch der Zeiger wieder vom Uhrwerk getrennt und festgestellt wurde.

Man gewann indess bald die Ueberzeugung, dass die auf diesem Wege erzielten Zeitangaben nie den Grad von Genauigkeit erreichen würden, welchen die Construction der Uhr gestattete. Der Grund lag einmal darin, dass die Kugel nicht direct die galvanische Kette herstellen konnte, und zu diesem Ende mechanische Zwischenglieder eingeschaltet werden mussten, welche nothwendig Fehlerquellen mit sich führten, und zweitens darin, dass die Erregung des Magnetismus nicht momentan mit der des Stromes erfolgt, und dass seine Intensität von der Stärke desselben abhängt und daher nie vollkommen constant ist. Die Bewegung des Ankers wird daher auch nicht immer in demselben Zeitabschnitt nach der Erregung des Stromes beginnen, und ausserdem die zur Durchlaufung seines Weges erforderliche Zeit verschieden sein.

Dies veranlasste mich schon damals zu dem Vorschlage zur Engagirung und Arretirung des Beobachtungszeigers anstatt des Elektromagnetismus den elektrischen Funken zu benutzen. Dies liess sich auf verschiedene Weise ausführen. Die Federn, durch deren Freiwerden der Zeiger engagirt und arretirt wurde, konnten durch äusserst fein

gezogene Platindrähte gespannt werden, welche durch hindurchschlagende Funken nach einander geschmolzen wurden; oder dies konnte durch Seidenfäden geschehen, welche durch einen permanenten Strom von Wasserstoff oder einen mit Knallgas gefüllten Raum hindurch gingen und durch die Entzündung des Gases durch den elektrischen Funken verbrannt wurden. Auch konnten die die Engagirung und Arretirung des Zeigers bewirkenden Hebel durch die mechanische Wirkung der Explosion des Knallgases direct in Bewegung gesetzt werden.

Die Artillerie-Prüfungs-Commission ging jedoch auf meinen Vorschlag nicht ein, weil ihr die Isolirung langer Leitungsdrähte, besonders bei nicht ganz günstiger Witterung, zu schwierig schien. Sie adoptirte dagegen die von Himly in Göttingen zuerst vorgeschlagene und von mir gleichzeitig mit meinem Plane zu ihrer Kenntniss gebrachte Unterbrechung des galvanischen Stromes durch die Kugel unmittelbar, jedoch benutzte sie dieselbe in ganz anderer Weise, wie Himly es vorschlug. Dieser wollte nämlich durch die Unterbrechung der Hauptleitung einer starken galvanischen Kette den ganzen activen Strom einer Nebenleitung zuwenden, dadurch einen feinen in dieselbe eingeschalteten Platindraht schmelzen und hierdurch den Beobachtungszeiger engagiren. Die Commission behielt dagegen den Elektromagnetismus bei, jedoch unter der wesentlichen Modification, dass die Engagirung und Arretirung des Beobachtungszeigers nicht mehr wie früher durch die Herstellung eines Stromes, sondern durch die Unterbrechung desselben und das damit verbundene Abfallen der Anker der Elektromagneten geschehen sollte.

Die mit der so ausgerüsteten Uhr namentlich im Sommer 1844 angestellten Beobachtungen gaben im Allgemeinen befriedigende Resultate, da der variable Fehler selten einige Tausendstel-Secunden überstieg. Vollkommen fehlerfreie Resultate werden sich jedoch auch auf diesem Wege nicht erzielen lassen, weil die magnetische Kraft nicht plötzlich mit der Unterbrechung des Stromes aufhört, oder auch nur bedeutend vermindert wird. Es kann dies nur in einer mehr oder weniger steilen Curve geschehen. Wenn daher auch ein Anker, der die Grenze der Tragkraft des Magneten beinahe erreicht, scheinbar momentan mit der Unterbrechung des Stromes abfällt, so muss doch immer eine von der Stärke des Stromes, so wie auch von der Dauer seiner Einwirkung auf den geschlossenen Magneten abhängige Zeit verfliessen, bis dies eintritt. Ja selbst, wenn die Schwere des Ankers die Tragkraft vollständig erreichte, könnte er doch nicht momentan abfallen, weil im Augenblicke der Unterbrechung der Strom und mithin auch die Anziehungskraft des Magnetes durch die inducirende Wirkung der Drahtwindungen auf einander noch ansehnlich vermehrt wird.

Wheatstone und Breguet wenden bei ihren neuerdings bekannt gemachten Apparaten als Zeitmesser anstatt einer Uhr einen rotirenden Cylinder an. Sie lassen die Anker der Elektromagnete direct auf den-

selben hinabfallen und erhalten dadurch Marken auf seiner Oberfläche, deren lothrechter Abstand von einander ihnen das Maass der zwischen der Unterbrechung der beiden Ströme verflossenen Zeit gibt.

Es ist einleuchtend, dass ein Cylinder sich durch Verbindung mit einem conischen Pendel in weit gleichmässigere und schnellere Rotation versetzen lässt, als ein Beobachtungszeiger, der plötzlich in Bewegung gesetzt und demnach sehr leicht und zart construirt werden muss, damit seine Masse keine merkbaren Störungen verursacht. Durch das directe Hinabfallen der Anker auf den Cylinder ist ferner abermals ein mechanisches Zwischenmittel zwischen dem Geschosse und dem Zeitangeber beseitigt, also auch eine Fehlerquelle weniger vorhanden. Indess sind dagegen andere Uebelstände mit diesen Apparaten verknüpft, die ihre Vorzüge vor dem hier angewendeten mindestens sehr fraglich machen. Es können nämlich bei jenen nur sehr leichte Anker angewendet werden, die sowohl hinsichtlich der Zeit ihres Abfallens, wie auch während des Falles selbst, störenden Einflüssen weit mehr ausgesetzt sind, wie schwere. Doch auch möglichst leichte Anker werden im Augenblicke des Stosses auf den Cylinder eine beträchtliche Reibung erzeugen, welche störend auf die gleichförmige Bewegung desselben einwirkt. Der Cylinder selbst muss sehr lang und verhältnissmässig schwer werden, und seine Axen eine entsprechende, der gleichförmigen und schnellen Rotation nachtheilige Dicke erhalten. Eine weit grössere Fehlerquelle liegt aber noch in der Verschiebung des Cylinders oder der Magnete während der Messung. Denn da dieselbe erst kurz vorher beginnen kann, so muss die jetzt eintretende Bewegung einer beträchtlichen Masse, die nur auf Kosten der Drehungsgeschwindigkeit des Cylinders entstehen kann, nothwendig bedeutende Störungen in der Gleichmässigkeit der letzteren herbeiführen, die noch durch die beträchtliche Reibung in den Schraubengewinden vergrössert werden. Die Resultate der Messungen mittelst eines solchen Instruments können daher auch nur sehr unsicher sein.

Wenn indess auch die Anwendung eines rotirenden Cylinders in Verbindung mit Elektromagneten mit grossen Uebelständen verknüpft ist, so würde doch ein solcher, wenn er sehr kurz und leicht gefertigt werden und ganz frei rotiren könnte, einen sehr vollkommenen Zeitangeber bilden.

Dies bewog mich, meinen früheren Plan, den elektrischen Funken zur Geschwindigkeitsmessung zu benutzen, wieder aufzunehmen und die Uhr durch einen rotirenden Cylinder zu ersetzen. Mein Bestreben war dabei, jedes mechanische Zwischenelement zwischen der Kugel und dem Zeitangeber zu beseitigen, den Funken sich also direct auf dem Cylinder markiren zu lassen. Eine Reihe von Versuchen, die ich mit verschiedenen Metallen und Ueberzügen anstellte, um eine scharf begrenzte und leicht erkennbare Marke durch einen überspringenden

Funken zu erhalten, liess mich einen polirten Stahlcylinder ohne jeden Ueberzug als das Angemessenste erkennen. Jeder, wenn auch noch so schwache Funke macht auf polirtem Stahl einen scharf begrenzten und deutlich sichtbaren Punkt. Er ist anfangs schwärzlich gefärbt von abgelagertem Eisenoxyd, tritt aber, wenn dies durch Abwischen entfernt ist, viel deutlicher, als heller unter dem Mikroskop sichtbar vertiefter Fleck hervor.

Die Construction des hierauf begründeten elektrischen Chronoskops ist nun folgende:

Ein sorgfältig gearbeiteter und getheilter Stahlcylinder, dessen Schwerpunkt im Quecksilberbade genau centrirt ist, wird durch ein Getriebe mit einem conischen Pendel in Verbindung gesetzt und durch dasselbe in schneller und gleichmässiger Rotation erhalten. Seiner Peripherie möglichst nahe ist eine isolirte Metallspitze angebracht, welche mit der inneren Belegung einer geladenen Leydner Flasche communicirt. Von dem ebenfalls isolirten Cylinder und der äusseren Belegung der Flasche ausgehend führen zwei Metalldrähte in einem die Schlagweite des Funkens übersteigenden Abstande vor der Mündung des Geschützes vorbei und sind hinter derselben befestigt. Wenn die Kugel aus der Mündung des Geschützes tritt, so trifft sie die beiden Drähte und stellt in diesem Augenblicke die leitende Verbindung des Cylinders mit der äusseren Belegung der Flasche durch ihre eigene metallische Masse her. Der jetzt überspringende Funke markirt sich auf der Oberfläche des rotirenden Cylinders. Einige Fuss von der Mündung des Geschützes entfernt ist ein zweites Drahtpaar eben so wie das erste angebracht, von denen der eine ebenfalls mit dem Cylinder, und der zweite mit der äusseren Belegung einer zweiten Flasche communicirt, deren innere Belegung wie die der ersteren mit der Spitze verbunden ist. Der zweite Funke muss daher auf den Cylinder überspringen, wenn die Kugel den Abstand der beiden Drahtpaare von einander durchlaufen hat und das zweite Paar trifft; der Abstand der Punkte von einander ist dann das Maass der dazu verbrauchten Zeit.

Gesetzt nun, der Cylinder wäre in Tausend Theile getheilt und rotirte 10 mal in der Secunde um seine Axe, so würde einem Abstande der Punkte von 1 Theilstrich eine Zeit von 0,0001 Secunden entsprechen. Mit Hülfe eines Nonius lassen sich aber noch 10 Unterabtheilungen bequem ablesen, wenn die Funken schwach gehalten sind, wodurch die Genauigkeit der Messung sich auf 0,00001 Secunden steigert. Ein Fehler in der Zeitangabe ist dabei kaum möglich, und könnte nur in einer Unregelmässigkeit der Drehung des Cylinders seinen Grund haben. Durch eine grosse Drehungsgeschwindigkeit wird aber der nachtheilige Einfluss etwaiger Fehler des Räderwerks, die sich bei langsamer Bewegung vollständig auf die Drehung des Cylinders übertragen würden, compensirt. Da sich bei dieser Schärfe der Zeitangabe

noch eine Bewegung des Geschosses um $^1/_{100}$ Fuss auf dem Cylinder ablesen lässt, so würde es unnöthig sein, die Flugzeiten während eines grösseren Theils der Gesammtbahn desselben zu messen, als es bei Anwendung des Elektromagnets, des beträchtlichen variabelen Fehlers wegen, erforderlich ist. Man gewinnt dadurch in mehrfacher Beziehung. Einmal kann die Anfangsgeschwindigkeit direct gemessen werden, da die Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit des Geschosses in den ersten 5 bis 10 Fuss noch kaum merkbar sein wird. Ferner kann man ohne Schwierigkeiten zwei kurze hinter einander folgende Stücke der Flugbahn gleichzeitig messen, um dadurch eine Controle der Zeitangabe zu erhalten. Man braucht zu diesem Ende nur ein drittes Drahtpaar, welches mit einer dritten, eben so wie die beiden anderen mit der Spitze verbundenen Flasche communicirt, in der Schusslinie zu placiren. Endlich erreicht man dadurch noch den Vortheil, dass die zu messenden Zeiten stets geringer sind, als die zu einer halben Umdrehung des Cylinders erforderliche. Es ist desswegen auch nicht nöthig, eine Verschiebung der Spitze oder gar des Cylinders stattfinden zu lassen, um die Umdrehungen zählen zu können und zu wissen, welches der erste Punkt ist. Ferner ist es auch unnöthig, dem Cylinder eine beträchtliche Länge zu geben, und nach jedem Schusse denselben anzuhalten, um das Resultat abzulesen. Die Spitze braucht nur nach jedem Schusse in der Richtung der Axe des Cylinders etwas verschoben zu werden. Hierdurch werden die Punkte in einen neuen Kreis gebracht und können von den früheren leicht unterschieden werden. Die Fähigkeit, kleine Zeitintervalle mit Genauigkeit zu messen, macht dies Instrument noch zu einer anderen Versuchsreihe anwendbar, welche für die Theorie der Schusswaffen von grosser Bedeutung werden wird. Es ist dies das Messen der Geschwindigkeit des Geschosses in den verschiedenen Abschnitten seiner Bahn im Geschütze selbst. Man braucht zu diesem Ende nur in verschiedenen Abständen Löcher in's Geschütz zu bohren und isolirte Leitungsdrähte hindurch zu führen, die mit den äusseren Verlegungen der Flaschen communiciren, während das Geschütz mit dem Cylinder in leitende Verbindung gebracht ist.

Bei allen diesen Messungen kann das Instrument in einem Zimmer dicht bei dem Geschütze, und dieses selbst mit den Leitungsdrähten ebenfalls in einem bedeckten Raume stehen.

Die Isolirung der Drähte würde daher bei einigermaassen günstiger Witterung, die man ja immer zu derartigen wissenschaftlichen Untersuchungen abwarten kann, keine Schwierigkeit haben. Eben so würde bei den vorgeschlagenen geringen Entfernungen das Treffen der einzelnen Drahtpaare kaum gefährdet sein. Um Letzteres auch auf grössere Entfernungen zu sichern, kann man auch einen Rahmen, in welchem parallele Drähte ausgespannt sind, anstatt eines einzelnen Drahtpaares

in die Schusslinie bringen. Die Drähte werden abwechselnd mit einander verbunden, so dass z. B. der 1ste, 3te, 5te etc. mit dem Cylinder, der 2te, 4te, 6te etc. mit der äusseren Belegung der Flasche communicirt. Die Kugel muss dann stets mit zwei nach einander folgenden Drähten gleichzeitig in Contact kommen und dadurch das Ueberspringen des Funkens veranlassen.

Zur Messung der Zeiten, welche das Geschoss zur Durchlaufung sehr grosser Theile seiner Gesammtbahn gebraucht, würde das Instrument in der beschriebenen Form indess kaum anwendbar sein, da die Isolirung so langer Drähte immer mit grossen Schwierigkeiten verknüpft sein würde. Zu diesem Behufe würde es vortheilhafter sein, sich des Inductionsfunkens anstatt des Funkens der Flasche zu bedienen. Dies liesse sich auf folgende Weise bewerkstelligen:

Ein aus isolirten Drähten bestehender Eisenkern wird mit zwei besponnenen Drähten umwunden, von denen der eine, dickere der Schliessungsdraht einer starken galvanischen Kette ist und vor der Mündung des Geschützes vorbeiführt. Die Enden des zweiten dünnen und längeren Drahtes werden mit dem rotirenden Cylinder und der Spitze, die dem Cylinder so nahe wie möglich gebracht wird, verbunden. Bei der Unterbrechung der Kette durch die Kugel springt dann ein Funke auf den Cylinder über, der sich ebenfalls, wenn auch bedeutend schwächer und undeutlicher, auf dem Cylinder markirt. Dasselbe wiederholt sich mit einer anderen Inductionsrolle, wenn die Kugel, am Ziele angelangt, den Schliessungsdraht einer zweiten Kette durchreisst.

Da sich die Empfindlichkeit des beschriebenen Apparats durch eine möglichst sorgfältige Anfertigung, genauere Theilung und schnellere Rotation des Cylinders und Benutzung sehr schwacher Funken noch bedeutend steigern lassen wird, so liesse er sich auch vielleicht mit Vortheil zu Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit der Elektricität selbst benutzen. Zu dem Ende müsste der Cylinder aus zwei isolirten Scheiben oder Ringen, die auf derselben Axe rotiren, bestehen. Diesen Scheiben stehen zwei Spitzen gegenüber, die genau auf denselben Theilstrich eingestellt sind. Wird nun die eine dieser Spitzen mit der inneren Belegung einer geladenen Flasche verbunden, und ist die Verbindung der beiden Scheiben durch einen langen Leitungsdraht hergestellt, so wird, wenn die zweite Spitze durch einen eben so langen Draht mit der äusseren Belegung in Verbindung gesetzt wird, ein Funke zwischen beiden Scheiben und Spitzen überspringen. Der lothrechte Abstand der Punkte von einander gibt dann die Zeit an, welche der Funke zum Durchlaufen der Hälfte des Gesammtweges gebrauchte.

Ueber

telegraphische Leitungen und Apparate.

(Poggendorff's Annalen der Phys. u. Chem. Bd. 79 S. 481.)

1850.

Die Störungen und gänzlichen Unterbrechungen des Dienstes, die bei den elektrischen Telegraphen, namentlich auf längeren Linien, bisher so häufig eintraten, finden grösstentheils ihren Grund in Schwankungen der Stärke und Dauer der die telegraphischen Apparate in Bewegung setzenden elektrischen Ströme, die durch die langen, störenden Einflüssen aller Art Preis gegebenen Leitungsdrähte veranlasst werden. Es boten sich zwei Wege, um diese Störungen zu beseitigen und der elektrischen Telegraphie dadurch den Grad von Sicherheit, Schnelligkeit und steter Schlagfertigkeit zu geben, deren sie bedarf, wenn sie die allgemeine Verbreitung und Anwendung gewinnen und die Dienste leisten soll, welche man bisher vergeblich von ihr erwartete. Der erste Weg besteht darin, die Leitung zu vervollkommnen und sie den störenden Einflüssen aller Art, denen sie ausgesetzt ist, möglichst zu entziehen; der zweite dagegen darin, den telegraphischen Apparaten eine derartige Einrichtung zu geben, dass sie einen möglichst grossen Grad von Ungleichmässigkeit der sie bewegenden Ströme ertragen können, ohne dadurch in Unordnung zu kommen.

Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes ist der erste, die Leitungen betreffende Theil der Aufgabe.

Ich werde zuerst versuchen, die Gründe der Störungen, welche man bei den, mit alleiniger Ausnahme der neueren preussischen Telegraphenanlagen, bisher ausschliesslich angewendeten überirdischen Leitungen so häufig zu beobachten Gelegenheit hat, in kurzer Uebersicht zusammen zu stellen, und zugleich die Mittel anführen, die neuerdings mit einigem Erfolg zu ihrer Beseitigung in Anwendung gekommen sind.

Die unvollkommene Isolation der Leitungsdrähte war bis auf neuere Zeit ein hauptsächliches Hinderniss einer sicheren und directen tele-

graphischen Verbindung der Endpunkte langer Linien. Bei feuchter Witterung bilden die den Draht tragenden Pfosten eine leitende Verbindung desselben mit dem Erdboden. Bilden mithin Draht und Erde den Schliessungskreis einer Säule, so tritt jeder feuchte Pfosten als Nebenschliessung derselben auf und bewirkt eine Verstärkung des Stromes in dem der Säule näher liegenden und eine Schwächung desselben in dem entfernteren Theile des Leitungsdrahts. Die hierdurch bewirkte, bei schlecht isolirten Leitungen schon bei wenig Meilen langen Linien oft sehr beträchtliche Ungleichheit der Stromstärke an den beiden Enden des Leitungsdrahtes und in den dort eingeschalteten Spiralen der Elektromagnete würde wenig schädlich sein, wenn sie constant bliebe. Da sie aber durchaus abhängig von der Witterung an den verschiedenen Punkten der Leitung, mithin stets veränderlich ist, so veranlasst sie stete Störungen der Angaben und des regelmässigen Ganges der telegraphischen Apparate. Bei rotirenden Telegraphen sucht man diese veränderliche Ungleichheit der Stromstärke in den Spiraldrähten der correspondirenden Apparate durch Vertheilung der wirkenden Säule zu vermindern. Wenn dieser Zweck hierdurch auch theilweise erreicht wird, so entsteht dadurch dagegen der, für alle bisherigen Telegraphen noch grössere Uebelstand, dass die Unterbrechung der Kette an einem Ende der Leitung nicht die vollständige Unterbrechung des Stromes in dem Spiraldrahte des am anderen Ende derselben befindlichen Telegraphen zur Folge hat, da der dort befindliche Theil der Säule durch die vorhandenen Nebenschliessungen geschlossen bleibt.

Die früher benutzten Isolationsmittel, durch welche man den Draht von den feuchten Stangen zu isoliren suchte, wie Glas- oder Porzellanringe, durch welche er gezogen wurde, Umwickeln des Drahts an den Berührungsstellen mit Kautschuck etc., Anbringung eines schützenden Daches auf den Stangen konnten nur unvollkommene Dienste leisten, da die leitende Verbindung des Drahts mit der Erde bei Regenwetter über das nasswerdende Isolationsmittel hinweg hergestellt war. Die neuerdings angewandten Trichter von Glas, Porcellan oder Steingut erfüllen dagegen den Zweck der Isolation in sehr vollkommenem Grade. Bei der von mir im Winter des v. J. ausgeführten, 42 Meilen langen überirdischen Leitung zwischen Eisenach und Frankfurt a. M. über Kassel wurden oben geschlossene Porcellantrichter angewendet, die auf eiserne Stangen so aufgekittet wurden, dass die Glocke nach unten gerichtet war. Die eiserne Stange wurde an das obere Ende der hölzernen Pfosten geschraubt und der Draht an der äusseren Fläche des Trichters durch Umwinden um den oberen dünnen Theil desselben befestigt. Die innere Fläche des Trichters bildet hier die stets trocken bleibende, isolirende Schicht zwischen dem Draht und der Stange. Die Isolation dieser Leitung war selbst bei dem ungünstigsten Wetter

(feuchtem Schneefall) noch so vollständig, dass bei dem benutzten wenig empfindlichen Galvanometer mit einfacher Nadel kein Strom wahrzunehmen war, wenn an dem einen Ende der Leitung eine Säule von 8 Daniell'schen Elementen und das Galvanometer zwischen Leitungsdraht und Erde eingeschaltet und das andere Ende des Leitungsdrahts isolirt war.

Je vollkommener aber die Isolation überirdischer Leitungen hergestellt ist, desto störender treten die Einflüsse der atmosphärischen Elektricität auf. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass bei unvollkommen isolirten Leitungen die dem Drahte durch die geladenen ihn umgebenden Luftschichten, oder durch die vertheilende Wirkung der sich demselben nähernden oder von ihm entfernenden Wolken mitgetheilten Ladungen sich durch die vorhandenen Nebenschliessungen ausgleichen können, ohne ihren Weg durch die Spiralen der Magnete der an den Enden der telegraphischen Leitung befindlichen Instrumente zu nehmen, dass ferner diese Ladungs- und Entladungsströme bei unvollkommen isolirten Leitungen auch während der Unterbrechung der Kette an einem oder an beiden Enden der Leitung ihren Fortgang haben, während bei vollkommener Isolirung sich während der Unterbrechung freie Elektricität im Drahte ansammelt, welche darauf beim Schliessen der Kette ihren Weg durch die Magnetspiralen zur Erde nimmt und hierdurch den regelmässigen Strom der Säule am einen Ende schwächt, am anderen dagegen verstärkt. In gebirgigen Gegenden ist namentlich die freie Elektricität der Luft eine Quelle steter Störungen.

Bei der oben erwähnten Leitung zwischen Eisenach und Kassel, welche der Eisenbahn folgend aus dem Werra- ins Fulda-Thal übergeht, deren Wasserscheide gleichzeitig die Wasserscheide für die dortige Gegend bildet, zeigt ein ohne Batterie in die Leitung eingeschaltetes Galvanometer fast zu jeder Zeit ziemlich heftige Ströme von veränderlicher Stärke und Richtung an, die im Sommer, während der Mittagszeit, häufig so heftig und veränderlich werden, dass der Dienst der Linie auf mehrere Stunden dadurch unterbrochen wird. Sind beide Enden des Leitungsdrahts isolirt, so zeigt er immer eine beträchtliche Ladung freier Elektricität. Diese Ladungen werden noch bedeutend stärker, wenn an einer Stelle der Leitung Regen oder Schnee fällt. Namentlich im letzteren Falle ist die Ladung des Drahts so stark, dass man demselben Funken von 1 bis 2 mm Länge entziehen kann, die dann in schneller Reihenfolge hinter einander überspringen und jedesmal den Anker des Elektromagnets zur Anziehung bringen. Noch intensiver sind die in den Drähten durch Gewitterwolken erzeugten Ströme. In den Sommermonaten hört in der Regel bei längeren Linien der regelmässige Gang der correspondirenden Apparate schon auf, wenn sich Gewitterwolken am Himmel zeigen. Auch diese Erscheinungen

sind in bergigen Gegenden viel heftiger wie in der Ebene. Besonders auffallend stark sind die bei Entladungen der Wolken auch in kurzen Leitungen sich zeigenden Ströme. Dieselben scheinen nicht durch Freiwerden der durch die Wolken im Draht durch Vertheilung angesammelten Elektricität erklärt werden zu können, da selbst dann, wenn das Gewitter schon mehrere Meilen weit von der Drahtleitung entfernt ist, noch bei jedem Blitze ein sehr heftiger Strom sich zeigt. Es scheint ein Theil des durch die Entladung im Erdboden selbst hervorgerufenen Stromes seinen Weg durch den schneller leitenden Draht zu nehmen.

Bei einer längeren überirdischen Leitung vergeht fast kein Sommer, ohne dass der Blitz in sie einschlägt, die Instrumente beschädigt und die Leitung theilweise zerstört. Bei der oben erwähnten überirdischen Leitung ist mit gutem Erfolge die Verbreitung des in den Leitungsdraht einschlagenden Blitzes dadurch verhindert, dass von Zeit zu Zeit und namentlich in der Nähe der Endpunkte der Leitung Metallstücke, welche durch die Höhlung der Trichter vor dem Nasswerden geschützt sind, möglichst nahe einander gegenübergestellt wurden. Das eine derselben ward mit dem Leitungsdraht, das andere mit dem Erdboden leitend verbunden. Diese Anordnung bietet der elektrischen Entladung einen kürzeren Weg zur Erde von geringem Widerstande und leitet dadurch den am Draht fortlaufenden Blitz zur Erde ab. Sind die einander genäherten Metallmassen gross und der Abstand von einander möglichst klein, so dienen sie auch zur Entladung der durch Vertheilung dem Drahte mitgetheilten schwachen Ladungen. Dadurch wird der nachtheilige Einfluss derselben auf den Gang der Apparate vermindert, doch entsteht durch die häufig in schneller Reihenfolge zwischen zwei Punkten überspringenden Funken leicht eine leitende Verbindung der beiden Metallmassen. Es ist daher rathsam, bei überirdischen Linien im Freien von Zeit zu Zeit Blitzableiter in oben beschriebener Art, jedoch mit etwas grösserem Abstande der beiden Metallmassen von einander, anzubringen, um heftige Schläge abzuleiten, und dagegen in den Zimmern grosse Metallplatten mit möglichst geringem Abstande von einander zu placiren, um die schwachen Ladungen des Drahtes unschädlich zu machen. Herr Professor Meissner in Braunschweig, unter dessen Leitung die dortigen Telegraphen-Anlagen ausgeführt sind, hat dies Mittel ebenfalls mit grossem Erfolg in Anwendung gebracht und häufig beobachtet, dass der Gang der in Gebrauch befindlichen Telegraphen ungehindert blieb, während der enge Zwischenraum zwischen den angewendeten Platten durch fortwährend übergehende Funken hell erleuchtet erschien. Wenn sich auch durch die beschriebenen Vorkehrungen der störende Einfluss der atmosphärischen Elektricität beträchtlich vermindern lässt, so lässt er sich doch nie ganz beseitigen. Namentlich werden Gewitter stets vorübergehende Unterbrechungen des

Dienstes bei überirdischen Leitungen mit sich führen. Der grösste und nicht zu beseitigende Uebelstand der überirdischen Leitungen besteht aber in der, allen äusseren zerstörenden Einflüssen völlig Preis gegebenen Lage derselben. Bei der oft erwähnten Linie von Eisenach bis Frankfurt a. M. fand längere Zeit fast täglich eine Unterbrechung der Leitung durch Muthwillen, Diebstahl, Zufall oder durch Naturereignisse statt, und nur durch ein starkes, auf der ganzen Linie vertheiltes Wärtercorps ist es möglich geworden, eine ziemliche Regelmässigkeit des Dienstes durch schnelle Reparatur der vorhandenen Beschädigungen zu erhalten.

Diese Unsicherheit des Dienstes der Telegraphen mit überirdischen Leitungen rief daher schon seit längerer Zeit das allgemeine Bestreben hervor, die Drähte, mit einer isolirenden Masse bekleidet, unter dem Boden fortzuführen. Die ausgedehntesten Versuche in diesem Sinne sind bekanntlich von Jacobi (Annal. Bd. 58, S. 409) angestellt. Derselbe versuchte zuerst den Draht durch Glasröhren, die mit Kautschuck verbunden wurden, zu isoliren; doch die Röhren zerbrachen und die Verbindung zeigte sich als undicht. Ebenso schlug ein zweiter Versuch, welcher in Bekleidung des Drahtes in seiner ganzen Länge mit Kautschuck bestand, gänzlich fehl, weil die Leitung mit der Zeit die anfänglich vorhandene Isolation grösstentheils verlor. Kautschuck ist auch schon deswegen als Isolationsmittel bei Kupferdraht nicht anwendbar, weil dasselbe bei längerer Berührung mit dem Kupfer sich zersetzt und eine leitende Verbindung mit demselben bildet. Die in Preussen zur Anstellung von Versuchen und zu Ermittelungen über elektrische Telegraphen früher bestehende Commission wiederholte unter einigen Modificationen die Jacobi'schen Versuche, ohne ein besseres Resultat zu erzielen. In England und Amerika hat man sich häufig eiserner oder bleierner Röhren bedient, um die eingeschlossenen übersponnenen Drähte vor dem Zutritt der Feuchtigkeit zu schützen. Die grossen Kosten dieses Verfahrens, so wie die mit der vollkommenen Dichtung dieser Röhren verbundenen Schwierigkeiten, machten es natürlich nur für ganz kurze Leitungen durch Flüsse etc. anwendbar. Es zeigte sich ferner, dass die den Draht eng umschliessenden Bleiröhren häufig nach Verlauf einiger Zeit mit demselben in Berührung kamen. Wahrscheinlich war die ungleiche Ausdehnung von Blei und Kupfer, bei Temperaturveränderung, die Veranlassung dieser Erscheinung.

Es schien in der That, als seien die Schwierigkeiten, welche sich der Isolation der ganzen Oberfläche der Drähte entgegenstellten, ohne übermässige Kosten nicht zu lösen, als ein bisher nicht bekanntes Material, die Guttapercha, auftauchte. Ich erhielt die ersten Proben dieser Masse im Herbste 1846, während ich gerade ebenfalls mit Versuchen über unterirdische Leitungen beschäftigt war, und dehnte dieselben sogleich auf dasselbe aus. Es ergab sich, dass auch die dünnsten

Blättchen der entwässerten Masse eine für den vorliegenden Zweck hinreichende Isolationsfähigkeit besassen. Da nun ferner durch die Eigenschaft der Guttapercha, bei mässiger Erwärmung plastisch zu werden und an einander zu kleben, auch die Schwierigkeit der dichten Verbindung der einzelnen Theile der Umhüllung beseitigt erschien, so gewann ich bald die Ueberzeugung, dass dies Material zur Lösung des vorliegenden technischen Problems geeignet sei. Ich setzte mich daher mit Herrn Pruckner, Mitbesitzer der hiesigen Guttapercha- und Gummiwaaren-Fabrik von L. Fonrobert und Pruckner, in Verbindung und stellte in Gemeinschaft mit demselben weitere Versuche an. Das günstige Resultat derselben veranlasste mich, bei der schon genannten Commssion die Anstellung umfassender Versuche in diesem Sinne zu beantragen. Sie ging darauf ein und beauftragte mich mit der Leitung der Arbeiten zur Ausführung einer Versuchsleitung von einer Meile Länge. Im Herbst 1847 war dieselbe vollendet. Die Isolation des Drahtes erwies sich trotz der noch mangelhaften Methode, welche zur Bekleidung desselben mit der Guttapercha angewendet war, schon so ausreichend, dass die Verlängerung der Leitung bis auf die Länge von $2^1/_2$ Meilen (von Berlin bis Gr. Beeren) beschlossen ward. Im Frühjahr 1848 war auch diese Arbeit vollendet, und die Leitung ward nun zur telegraphischen Correspondenz zwischen den genannten Orten benutzt. Die Bekleidung der Drähte geschah in der Fabrik der Herren Fonrobert und Pruckner. Es ward hierzu reine, durch erhitzte Walzen vollständig entwässerte Guttapercha verwendet. Die erwärmte Masse ward durch gekehlte Walzen um den Draht gepresst. Die vorhandenen Isolationsfehler wurden mit Hülfe eines Neef'schen Inductors aufgesucht und durch Beklebung mit erwärmten Guttapercha-Bändern ausgebessert. Darauf ward die Isolation eines jeden Drahtes, von etwa 700′ Länge mittelst eines äusserst empfindlichen Galvanometers geprüft und derselbe nur dann zur weiteren Verwendung genommen, wenn das zwischen dem Draht und das ihn umgebende Wasser mit einer Säule von 8 Daniell-Elementen eingeschaltete Galvanometer keine Spur von Ablenkung zeigte. Zu grösserer Sicherheit ward der Draht beim Einlegen in den 2′ tiefen Graben auf dem Planum der Eisenbahn noch mit einer Mischung von Marineleim, Steinkohlentheer und Colophonium überzogen. Die Drahtenden wurden mit Zinn zusammengelöthet und die Löthstellen durch Umkleben mit erwärmten Guttapercha-Platten ebenfalls isolirt. Der zweite Ueberzug des Drahtes schien nöthig, weil Versuche gezeigt hatten, dass die reine Guttapercha bei längerem Liegen im Wasser an der Oberfläche eine Rückbildung in weisses Hydrat erleidet und hierdurch die Gefahr entstand, dass die Isolation sich mit der Zeit vermindern würde. Diese Eigenschaft der Guttapercha tritt besonders bei längerem Liegen im Meerwasser hervor. Bei einer Minenanlage, die ich im Sommer 1848 im Kieler Hafen in Gemeinschaft mit Prof. Himly

in Kiel ausführte, waren die mit reiner Guttapercha bekleideten Drähte, welche zur Entzündung der auf dem Grunde des Fahrwassers liegenden Pulvermassen dienen sollten, nach circa 6 Monaten mit einer dünnen Lage weisser Guttapercha bekleidet. Die weisse Farbe verschwand wieder, wenn die Drähte einige Tage der Luft ausgesetzt waren. Es wurde aus diesem Grunde und der grösseren Härte der Masse wegen bei sämmtlichen später angefertigten Drähten geschwefelte Guttapercha in Anwendung gebracht.

Mehrfache Untersuchungen der oben erwähnten Leitung von Berlin nach Gr. Beeren im Frühjahr und Sommer des Jahres 1848 ergaben, dass die Isolation der Leitung in unveränderter Güte blieb, und dass auch die Guttapercha sich unverändert erhielt. In Folge dessen erklärte sich die Commission für die Anwendung dieser Leitungen zu den vom preussischen Staate beabsichtigten Telegraphen-Anlagen, und es ward nun ein bisheriges Mitglied derselben, der Regierungs- und Baurath Nottebohm, mit der Oberleitung des Baues derselben betraut.

Die bisherigen Erfahrungen hatten gezeigt, dass die bis dahin angewandte Methode der Bekleidung der Drähte mit Guttapercha noch sehr mangelhaft war. Die in Form zweier schmaler Riemen um den Draht gewalzte Masse klebte häufig nicht fest an einander und es bildeten sich dadurch Canäle, welche die Feuchtigkeit des Bodens mit der Zeit bis zum Draht gelangen liessen. Ferner stellte sich heraus, dass die Nähte nach einiger Zeit ihre anfängliche Festigkeit verloren und leicht von einander zu lösen waren, wodurch die dauernde Isolation der Drähte gefährdet erschien. Ich entwarf daher in Gemeinschaft mit Hrn. Halske eine Maschine, mittelst welcher die Guttapercha fortlaufend und ohne Naht durch Pressung um den Draht geformt ward. Dieselbe besteht aus einem Cylinder, welcher mit erwärmter Guttapercha gefüllt und durch ein Dampfbad vor Abkühlung geschützt wird. Durch eine starke Schraube, welche durch eine Dampfmaschine langsam gedreht wird, wird ein in dem Cylinder passender Stempel in denselben hinabgedrückt. Der offene Boden des Cylinders ist durch ein rechtwinklig ausgehöhltes Metallstück geschlossen, dessen Höhlung mit dem inneren Raume des Cylinders communicirt. Dies Metallstück ist von neun in einer geraden Linie neben einander liegenden, senkrechten Löchern durchbohrt. Der Durchmesser dieser Löcher entspricht in der unteren Wand des Metallstücks der Dicke des zu bekleidenden Drahtes. Die mit grosser Gewalt im Cylinder zusammengedrückte plastische Masse füllt den inneren Raum des beschriebenen Metallstücks und quillt aus den in demselben vorhandenen Löchern hervor. Die Drähte treten nun durch die unteren engeren Löcher in den mit Guttapercha angefüllten Raum und kommen mit Guttapercha bekleidet aus den oberen, weiteren, heraus. Sie werden darauf senkrecht so hoch hinaufgeführt, dass die Guttapercha während des Weges hinlänglich erkalten

kann, und dann auf Trommeln gewickelt. Die spätere Operation des Aufsuchens fehlerhafter Stellen und die Untersuchung der Isolation der fertigen Drahtenden sind bereits oben beschrieben. Die zweite Bekleidung des Drahtes beim Einlegen in den Graben, wie sie anfänglich zur Anwendung kam, konnte bei der geschwefelten Guttapercha fortfallen, da diese Masse die Eigenschaft, sich in Hydrat zurückzubilden, nicht besitzt. In der That sind die seit $1^1/_2$ Jahren ohne zweiten Ueberzug im Boden liegenden Drähte noch durchaus unverändert geblieben und von frisch fabricirten Drähten nicht zu unterscheiden.

Ueberall da, wo der Draht nicht mindestens 2 Fuss tief mit Erde bedeckt liegen kann, wird er durch eiserne Röhren vor äusserer Beschädigung geschützt. Dies geschieht namentlich stets beim Uebergang über Brücken, beim Einführen der Drähte in die Stationszimmer etc. Um den mit dem Einlegen des Drahts beschäftigten Arbeitern jederzeit Gelegenheit zu geben, sich die Ueberzeugung zu verschaffen, dass der Draht bis dahin nicht beschädigt sei, wird an dem Ende, von dem die Arbeit ausgeht, ein Uhrwerk aufgestellt, welches abwechselnd die leitende Verbindung des Drahtes mit der Erde herstellt und unterbricht. Durch Einschaltung eines Galvanometers und einer galvanischen Säule zwischen Draht und Erde lässt sich dann am Arbeitsorte aus der Ablenkung der Nadel auf die Güte des bis dahin gelegten Drahtes schliessen.

Trotz aller angewendeten Vorsicht ereignet es sich indess häufig, dass der Ueberzug des Drahtes auf dem Transport oder bei der Arbeit des Einlegens leichte Verletzungen bekommt. Solche in feinen Schnitten, Rissen oder abgescheuerten Stellen bestehende Beschädigungen sind, namentlich wenn die Arbeit bei trocknem Wetter ausgeführt wird, nicht gleich zu entdecken und auszubessern. Man muss daher in der Regel nach einiger Zeit, nachdem durch starke Regengüsse der den Draht umgebende Erdboden wieder vollständig durchnässt ist, die Leitung einer Revision unterwerfen und die vorhandenen Nebenschliessungen aufsuchen und ausbessern. Es kommt auch bei älteren Leitungen bisweilen, wenn auch selten, vor, dass der Ueberzug des Drahtes durch unvorsichtig ausgeführte Erdarbeiten beschädigt oder gar die Drahtleitung selbst zerstört wird.

Das von mir zur Aufsuchung beschädigter Stellen der Leitung angewendete Verfahren ist folgendes:

Ist die leitende Verbindung des Drahtes selbst zwischen den beiden verbindenden Telegraphenstationen nicht unterbrochen, aber der Ueberzug desselben irgendwo beschädigt, so kann die Lage der Beschädigung annähernd durch Rechnung bestimmt werden.

Als bekannt oder vorher durch Versuche vermittelt, wird vorausgesetzt:

die Länge des Leitungsdrahtes zwischen den Stationen, von denen aus die Ermittelung der Lage der Beschädigung geschehen soll; der

Widerstand der benutzten Säulen und der beiden zu den Messungen benutzten Galvanometer, deren Angaben vergleichbar sein müssen; der Widerstand des Drahtes, welcher die leitende Verbindung mit der entsprechenden, im Wasser oder im feuchten Boden liegenden Metallplatte herstellt, und der Widerstand der diese Platte umgebenden Flüssigkeitsschichten bis zur unendlichen Ausbreitung des Stromes.

Sämmtliche Widerstände seien auf den Widerstand des Drahtes reducirt.

Es seien x und y die Widerstände der Theile des Leitungsdrahtes von den Endpunkten A und B bis zu der beschädigten Stelle;

m die reducirte Summe der Widerstände des bei A eingeschalteten Galvonometers, der dort eingeschalteten Säule, des Verbindungsdrahtes mit der Endplatte und des oben definirten Uebergangswiderstandes des Stromes von der Platte zur Erde;

n dieselbe Summe für das Ende B der Leitung.

Ferner sei z der Widerstand des Ueberganges von der blossgelegten Stelle des Drahtes zur Erde oder der Widerstand der Nebenschliessung.

Endlich sei s die gemessene oder berechnete Stärke des durch die unbeschädigte Leitung gehenden Stromes der bei A und B befindlichen Säulen, von denen jede die elektromotorische Kraft e hat, s' die bei A gemessene Stromstärke der dort eingeschalteten Säule, wenn die Leitung bei B unterbrochen ist, s'' dagegen die bei B gemessene Stromstärke, wenn die Leitung bei A unterbrochen ist, so ist:

$$\frac{2\,e}{x + y + m + n} = s$$

$$\frac{e}{m + x + z} = s'$$

$$\frac{e}{n + y + z} = s''.$$

Aus diesen 3 Gleichungen e und z eliminirt gibt

$$s \,.\, s'' (x + y + m + n) - 2\, s' \,.\, s'' (m + x)$$
$$= s \,.\, s' (x + y + m + n) - 2\, s' \,.\, s'' (n + y)$$

woraus

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{2\, s' \,.\, s'' - s \,.\, s' + s \,.\, s''}{2\, s' \,.\, s'' - s \,.\, s'' + s \,.\, s'}.$$

Da die Summe $x + y$ gleich der Länge der Leitung, mithin bekannt ist, so ergibt sich aus dieser Gleichung sofort die Lage der Beschädigung.

Es ist bei Anstellung der Messungen der Stromstärke bei A und B die Vorsicht zu beobachten, die Säulen immer so zwischen Leitungsdraht und Endplatte einzuschalten, dass die beträchtliche Polarisation

des Drahtes an der beschädigten Stelle stets in gleichem Sinne auftritt und die Ablesung erst dann vorzunehmen, wenn die Polarisation ihr Maximum erreicht und die Ablenkung der Nadel dadurch möglichst constant geworden ist.

Genauere Resultate gibt ein anderer Weg der Berechnung der Lage einer Beschädigung, bei welchem die Polarisation weit weniger störend auftritt und welche unabhängig von der Grösse der elektromotorischen Kraft der angewandten Säulen ist.

Es sei die Bedeutung der Buchstaben x, y, m, n und z die oben angegebene. Ferner seien s und s' die bei A und B gemessenen Stromstärken der bei A eingeschalteten Säule, während die bei B befindliche durch einen Metalldraht von gleichem Widerstande ersetzt und die leitende Verbindung mit der Endplatte hergestellt ist. Ferner seien σ und σ' die gleichzeitig gemessenen Stromstärken bei B und A, wenn die Säule bei B eingeschaltet und bei A durch einen gleichen Widerstand ersetzt ist, so ist, da sich in verzweigten Schliessungsbogen die Stromstärken umgekehrt wie die Widerstände der Zweige verhalten,

$$s' = \frac{z}{y + n + z} \cdot s$$

woraus

$$\frac{s}{s'} = \frac{y + n + z}{z}$$

oder

$$1)\quad \frac{s - s'}{s'} = \frac{y + n}{z}.$$

Ferner aus demselben Grunde

$$\sigma' = \frac{z}{x + m + z} \cdot \sigma$$

also auch

$$2)\quad \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} = \frac{x + m}{z}.$$

Die Gleichung 2 durch die Gleichung 1 dividirt gibt

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{(\sigma - \sigma')\, s'}{(s - s')\, \sigma'},$$

wodurch die Lage der Beschädigung bestimmt ist.

Es ist kaum nöthig zu erwähnen, dass die eben entwickelten Formeln zur Bestimmung der Lage beschädigter Stellen der Leitung nur dann anwendbar sind, wenn nur Eine solche Stelle zwischen den Punkten, von denen die Messung ausgeht, vorhanden ist.

Ob dies der Fall sei oder nicht, kann man leicht durch Wiederholung der Messungen bei Einschaltung eines bekannten Widerstandes

an einem Ende der Leitung erkennen, da die Rechnung in diesem Falle nur dann dieselbe Lage der Beschädigung ergeben kann, wenn nur Eine Nebenschliessung vorhanden ist. Auf dem angedeuteten Wege, nämlich durch Einschaltung bekannter Widerstände und jedesmalige Messung der gleichzeitigen Stromstärken an den beiden Enden der Drahtleitung, erhält man nun zwar die nöthigen Data zur gleichzeitigen Bestimmung der Lage zweier oder mehrerer vorhandener Nebenschliessungen und zur Controle ihrer Richtigkeit; doch werden die Formeln für die praktische Anwendung zu schwerfällig und ihre Angaben ungenau. Es ist daher in der Regel zweckmässiger, in dem Falle, wo die Controle auf das Vorhandensein mehrerer Beschädigungen schliessen lässt, entweder dieselbe Bestimmung für beliebige Abtheilungen der Leitung vorzunehmen, oder gleich auf die unten beschriebene Weise durch fortgesetzte Theilung die Beschädigungen aufzusuchen.

Hinsichtlich der mit m und n bezeichneten Constanten ist noch zu erwähnen, dass dieselben bei der hier hauptsächlich in Betracht kommenden annähernden Bestimmung der Lage einer Beschädigung einer ausgedehnten telegraphischen Leitung ohne grosse Beeinträchtigung der Genauigkeit derselben ganz vernachlässigt werden können, wenn man grosse, in freiem Wasser liegende Endplatten und Säulen und Galvanometer von geringem Widerstande anwendet. Bei Endplatten, welche im feuchten Erdboden liegen, ist der Widerstand des Ueberganges der Elektricität von den Platten zum unbegrenzten feuchten Leiter, als welcher die Erde auftritt, natürlich unverhältnissmässig viel grösser, doch kann man dann, wenn man an beiden Enden gleiche und unter gleichen Verhältnissen befindliche Platten hat, für jede ohne Nachtheil den halben gemessenen Erdwiderstand annehmen. Andernfalls müsste man den Widerstand des Ueberganges für jede einzelne Platte mit Hülfe einer dritten, hinlänglich entfernt von beiden liegenden bestimmen.

Um durch fortgesetzte Theilung der Leitung möglichst schnell die vorhandenen Beschädigungen des Ueberzuges der Drähte aufzufinden, verfahre ich folgendermaassen:

Die Enden der Leitung werden isolirt. Die mit dem Aufsuchen und Ausbessern der Beschädigungen beauftragten Arbeiter sind mit einem hinlänglich empfindlichen Galvanometer, einer transportabelen Säule und einer Metallplatte ausgerüstet. Durch Durchschneidung des Drahtes an einer beliebigen Stelle der Leitung und Einschaltung des Galvanometers und der Säule zwischen das eine Ende desselben und die Erde erfahren sie, in welchem Stücke der Leitung die Beschädigung zu suchen ist. Ist nur eine Beschädigung vorhanden und die Lage derselben durch Rechnung annähernd bestimmt, so stellen sie den ersten Versuch an der berechneten Stelle an. Sie verbinden und iso-

liren darauf den Draht wieder, wie früher beschrieben, stellen in einiger Entfernung von dieser Stelle einen zweiten gleichen Versuch an und fahren hiermit so lange fort, bis sie den Ort der Beschädigung passirt haben. Darauf halbiren sie das zwischen den letzten beiden Versuchsstellen liegende Drahtstück und so fort, bis die Lage der Beschädigung auf einige Ruthen begrenzt ist. Dies Stück des Drahtes wird dann blossgelegt und die aufgefundene Beschädigung ausgebessert. Um den Draht für diese Versuche leichter zugänglich zu machen, wird derselbe bei der Anlage neuer Leitungen genau jedem Stationssteine der Eisenbahn gegenüber mit einem platten Steine bedeckt und dieser dann mit Erde beschüttet. Geübte Arbeiter bedürfen zur Anstellung eines solchen Versuchs nur weniger Minuten, die Wiederherstellung der beschädigten Leitung ist daher sehr schnell bewerkstelligt.

Hat die ungefähre Lage der Beschädigung nicht durch Rechnung ermittelt werden können, so müssen sich die Arbeiter der Eisenbahnzüge bedienen, um zu finden, zwischen welchen Eisenbahnstationen die Beschädigung zu suchen ist. Häufig ist die Zeit des Anhaltens der Züge zur Anstellung eines Versuchs hinreichend und die erste Eingrenzung dann schnell bewerkstelligt. Durch 10 bis 15 Versuche ist die Beschädigung dann im ungünstigsten Falle aufgefunden. Können die Arbeiter sich einer Dräsine zur schnelleren Fortbewegung bedienen, so genügen einige Stunden, um die Verletzung zwischen zwei Eisenbahnstationen, also auf eine Entfernung von 2 bis 3 Meilen, aufzusuchen und auszubessern.

Ist die leitende Verbindung des Drahtes selbst unterbrochen, so ist die Reparatur durch das beschriebene Theilungsverfahren noch schneller auszuführen, da das Durchschneiden des Drahtes dann nicht erforderlich ist. Das eine Ende des Drahtes wird isolirt und zwischen das andere Ende und die Erde eine kräftige Säule eingeschaltet. Die Arbeiter brauchen jetzt nur den Draht blosszulegen und eine feine Nadel durch die Guttapercha zu stechen, so dass die Spitze derselben den Draht metallisch berührt. Durch Berührung dieser Nadel mit der Zunge erfahren sie dann, ob der Draht zwischen der Untersuchungsstelle und der eingeschalteten Säule unterbrochen sei oder nicht. Ist die Nadel hinlänglich fein, so schliesst sich das Loch wieder vollständig. Anderenfalls muss die Oberfläche der Guttapercha etwas erwärmt werden, um die Oeffnung zu schliessen. Die Untersuchung kann hierbei von beliebig vielen Orten gleichzeitig ausgehen und ist daher auch sehr schnell zu beendigen.

Die Isolation der Leitung wird jetzt in einem sehr vollkommenen Grade erreicht. Bei neu angelegten Leitungen darf der Nebenstrom bei am anderen Ende geöffneter, 10 Meilen langer Leitung nicht über $2^1/_2$ pCt. des bei geschlossener Kette vorhandenen Stromes betragen,

der reducirte Widerstand der auf die Länge einer Meile gestatteten Nebenschliessungen muss daher mindestens dem einer circa 400 Meilen langen Drahtleitung entsprechen. Eine solche Nebenschliessung ist auch für die empfindlichsten Apparate noch unschädlich, da sie constant ist und nicht, wie bei überirdischen Leitungen, stets veränderlich. Da nun ferner die unterirdischen Leitungen durch die leitende Erdschicht, welche sie bedeckt, den so störenden Einflüssen der atmosphärischen Elektricität fast ganz entzogen sind, so bleiben nur die bei Entladungen der Wolken sie durchlaufenden und die durch Schwankungen des Erdmagnetismus in ihnen inducirten, nur bei starken Nordlichtern einigermassen beträchtlichen Ströme als veränderliche Elemente, welche den regelmässigen Dienst der benutzten telegraphischen Apparate stören könnten. Da diese Ströme jedoch die ganze Drahtleitung in gleichbleibender Stärke durchlaufen, so lassen sie sich, wie später gezeigt werden wird, durch zweckmässige Construction der Apparate unschädlich machen. Die unterirdischen Leitungen sind ferner der gewaltsamen Zerstörung durch Muthwillen, Diebstahl, Blitzschläge und zufällige Ereignisse aller Art durch ihre Lage entzogen. Die Haltbarkeit derselben ist nach bisherigen Erfahrungen fast als unbegrenzt zu betrachten, während die überirdischen Leitungen einer Erneuerung nach Verlauf von 10 bis 15 Jahren bedürfen, da die Drähte spröde werden und rosten, die Pfähle verfaulen und die isolirenden Glocken nach und nach zerbrechen. Die Kosten der unterirdischen Leitungen übersteigen schon jetzt die der solide angelegten überirdischen nicht mehr und werden sich wahrscheinlich noch beträchtlich vermindern. In diesem Augenblicke sind bereits über 400 Meilen unterirdischer Leitungen in regelmässiger Benutzung.

Die unterirdischen Leitungen bieten manche interessante Erscheinungen, auf welche ich nach Beendigung ihrer Untersuchung zurückkommen werde. Eine derselben, welche die Anwendung dieser Leitungen anfangs wesentlich erschwerte, besteht darin, dass der isolirende Ueberzug der Drähte als kolossale Leydener Flasche auftritt, deren Belegungen der Draht und die Feuchtigkeit des Erdbodens bilden und welche durch die Elektricität der zwischen ihnen eingeschalteten Säule geladen wird. Bei langen Leitungen bringen diese Ströme kräftige mechanische Effecte hervor, deren Intensität der Länge des Drahtes und der elektromotorischen Kraft der eigeschalteten Säule nahe proportional ist und mit der vollkommeneren Isolation des Drahtes zunimmt. Mit Polarisationsströmen können diese Ladungs- und Entladungsströme daher durchaus nicht verwechselt werden. Durch diese Annahme finden alle, oft fast wunderbaren Eigenthümlichkeiten, welche die unterirdischen Leitungen bei ihrer praktischen Benutzung zeigen, nicht nur ihre vollständige Erklärung, sondern es ist mit

Hülfe derselben sogar gelungen, dieselbe vollständig zu beherrschen und sogar nützlich zu verwenden. Bei der Beschreibung der von mir construirten Apparate werde ich mehrfach darauf zurückkommen.

Eine der auffallendsten Eigenthümlichkeiten der unterirdischen Leitungen ist die, dass die Apparate bei ihnen mit schwächerer Batterie in gleich schnellen Gang kommen, wie bei überirdischen mit beträchtlich stärkerer, obgleich die Leistungsfähigkeit des unterirdischen Drahtes um 1/4 geringer ist. Die Erklärung dieser Erscheinung fällt bei Annahme der oben definirten Ladungsströme nicht schwer. Da nämlich die Elektricität der Säule, welche im Drahte gebunden wird, auf der ganzen Oberfläche sich vertheilt, so hat nur ein kleiner Theil derselben den ganzen Widerstand des Drahtes zu überwinden.

Ist der Widerstand der angewendeten Säule sehr klein im Vergleich zu dem Widerstande der Leitung, so bleibt die elektrische Spannung des mit dem Leitungsdrahte verbundenen Pols unverändert, wenn das andere Ende des Drahtes mit der Erde verbunden wird.

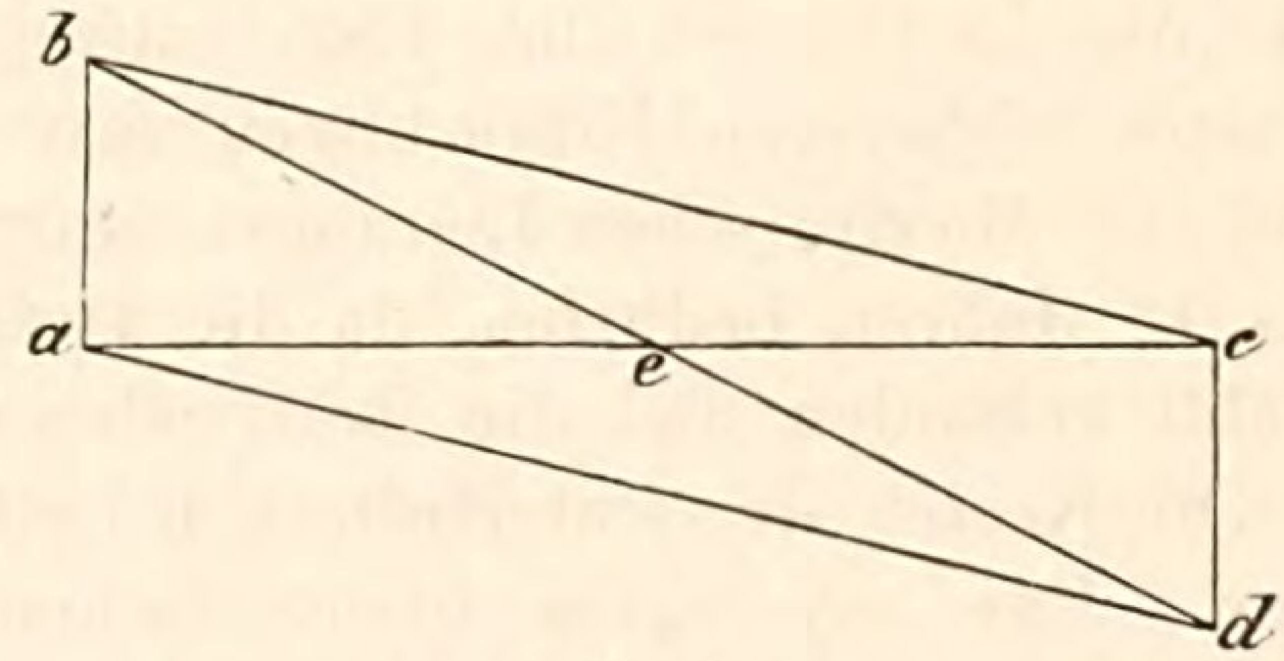


Fig. 2.

Bezeichnet *a c* in vorstehender Figur den Leitungsdraht, *a b* die Spannung der Elektricität der zwischen *a* und der Erde eingeschalteten Säule, und ist *c* mit der Erde leitend verbunden; verbindet man dann *b* mit *c* durch eine gerade Linie, so bilden die Senkrechten auf *a c* bis zum Schneidepunkte mit *b c* das Maass der elektrischen Spannungen, mithin auch der Ladungen der zugehörigen Punkte des Drahtes *a c*.

Der Inhalt des Dreiecks *a b c* bezeichnet also die Grösse der Ladung. Ist bei *c* auch eine Säule von gleicher Stärke zwischen Draht und Erde so .eingeschaltet, dass beide Säulen im gleichen Sinne wirken, so bezeichnet die Linie *c d* die hier abgegebene Spannung des Punktes *c* und es ist jetzt die Linie *b d* die Curve der elektrischen Spannungen des Drahtes. Der gleichförmig cylindrische Draht ist mithin von *a* bis zur Mitte mit positiver und von dort bis *c* mit negativer Elektricität geladen. Wird nun bei *a* und *c* gleichzeitig die Verbindung des Drahtes mit der Säule aufgehoben, so gleichen sich die Ladungen von entgegengesetzter Elektricität im Drahte selbst aus.

Wird die Verbindung gleichzeitig wieder hergestellt, so entsteht im ersten Momente ein Strom von grosser Stärke, da die Ladungsströme einen beträchtlich geringeren Widerstand zu überwinden haben. Bei der schnellen Aufeinanderfolge der Unterbrechungen und Schliessungen, wie sie bei den telegraphischen Apparaten vorkommen, ist es daher erklärlich, dass die angewendeten Säulen einen grösseren mechanischen Effect bei unterirdischen Leitungen geben.

Mémoire sur la télégraphie électrique.

(Présenté à l'académie des Sciences le 15 avril 1850.)

L'objet de ce Mémoire est de faire connaître les méthodes de télégraphie électrique de mon invention, que le gouvernement prussien a adoptées au commencement de l'année 1848 et qui depuis sont d'un usage presque général dans tout le nord de l'Allemagne.

Tout télégraphe électrique se compose essentiellement de deux parties, du circuit conducteur, et des appareils destinés à transmettre et à recevoir les signaux. En conséquence, je diviserai ce Mémoire en deux chapitres, le premier traitant de l'établissement du circuit, le second de la construction des appareils.

Chapitre I. — I. — *De l'établissement du circuit télégraphique.*

Remarques générales. — Tous ceux qui ce sont occupés de l'application pratique de la télégraphie électrique, s'accorderont facilement sur ce point, savoir que l'immense majorité des perturbations, auxquelles sont sujets les télégraphes électriques, provient des variations dans l'intensité des courants employés. La cause de ces variations réside, soit dans la source des courants, soit dans les conditions variables du circuit conducteur. La première de ces causes perturbatrices peut être aisément éliminée en faisant usage de sources constantes. Je me contenterai d'observer à cet égard que je donne le préference à la pile de Daniell. Quant aux perturbations qui découlent des conditions variables du circuit même, on en peut distinguer trois classes.

1°. *Pertes d'électricité par suite de l'isolement défectueux du fil conducteur.* — Lorsque le fil conducteur n'est pas bien isolé, par suite, par exemple, de l'humidité des poteaux et des pièces d'isolement intermédiaires, chaque communication indue entre le fil et le sol donne lieu à un courant dérivé qui reprend le chemin de la pile sans se rendre jusqu'à l'autre bout du fil, et dont l'intensité est à celle des autres courants dérivés semblables et du courant principal dans le

rapport inverse des résistances des différents circuits, dérivateurs et principal. Il en résulte que l'intensité du courant est augmentée à la station, où se trouve la pile, et deminuée à la station opposée. Le jeu des appareils ayant été le plus souvent tout naturellement adapté à l'intensité du courant à la première station, l'augmentation d'intensité à cette station n'a pas jusqu'ici attiré l'attention des ingénieurs. Cette attention, en revanche, s'est d'autant plus portée sur la diminution d'intensité à la station opposée, qui était cause que les appareils ne marchaient pas, et de là le nom de *pertes* par lequel on s'est habitué à désigner l'effet le plus saillant à première vue, de l'isolement imparfait du fil.

Il semble, à la vérité, que l'on devrait pouvoir parer à l'inconvénient résultant de ces pertes, en adaptant le jeu des appareils à l'intensité des courants telle qu'elle se manifeste encore à la station opposée. Le moyen serait bon, si les pertes avaient toujours lieu aux mênes points du fil et si leur grandeur restait constante pour le même point. Mais l'isolement des différentes parties du fil étant, avec les fils aériens, dans la dépendance absolue de l'état de l'atmosphère aux environs de ces parties, l'expédient en question reste, comme on voit, complètement illusoire.

2°. *Perturbations par l'électricité atmosphérique.* — Il est toutefois un moyen, très efficace de rémédier aux dites pertes. Ce moyen, usité sur plusieurs des anciennes lignes télégraphiques de l'Allemagne, consiste à enrouler le fil autour du col d'une espèce de cloche en verre ou en porcelaine fixée au sommet des poteaux de suspension, de manière que l'isolement soit effectué par la surface interne toujours à l'abri et, par conséquent, à sec de la cloche. Mais à mesure qu'on obtient par là une diminution des pertes et des inconvénients qui en résultent, il se développe un autre genre de perturbations non moins grave, dont la cause doit être cherchée dans les influences variables de l'électricité atmosphérique. L'expérience, en effet, a démontré trois espèces distinctes de perturbations de cette nature.

La première consiste en des courants continus d'intensité et de direction variables, qui se présentent par un temps serein, et particulièrement dans les terrains accidentés. Dans les contrées montagneuses et à certaines heures de la journée, ces courants, dont la cause est assez obscure, atteignent une intensité telle, qu'ils mettent un obstacle insurmontable au service des appareils. La seconde espèce de persurbations est produite par les mouvements, dans le voisinage du fil, de nuages chargés d'électricité. Dans ces mouvements, la charge par induction du fil venant à varier, on observe également des courants qui, par un temps orageux, et surtout quand à l'une des extrémités du fil il tombe de la pluie ou de la neige, deviennent encore assez puissants pour mestre fin au service. Quant à la troisième espèce de

perturbations, c'est celle qui, en temps d'orage, provient de véritables décharges d'électricité atmosphérique qui foudroient le fil, les appareils et, indépendamment de ces degâts, compromettent la santé et la vie des personnes chargées du service.

Les perturbations dues à l'électricité atmosphérique deviennent d'autant moins sensibles que l'isolement est moins parfait, parce qu'alors, dans les temps de la marche des appareils où le circuit n'est pas fermé, les charges et décharges du fil se font par les points de dérivation établis dans sa longueur, de manière à libérer les appareils d'une partie des courants étrangers; mais, évidemment, d'après ce qui précède, on a toujours à choisir entre les inconvénients provenant de cette cause et ceux qui résultent des pertes d'électricité.

3°. *Perturbations par suite de lésions du fil, accidentelles ou dues à la malveillance.* — Je crois pouvoir me borner, enfin, à signaler simplement ce troisième genre de perturbations auquel, comme tout le monde sait, les fils aériens sont si fort sujets à raison de leur situation exposée, et qui rend l'emploi des télégraphes électriques si peu sûr, précisément lorsqu'ils sont appelés à rendre les services les plus importants.

Considérations générales sur les fils aériens et les fils souterrains. — Tous ces inconvénients réunis s'étant manifesté de bonne heure dans l'emploi des fils aériens, il est naturel qu'on ait bientôt songé à y mettre fin en plaçant les fils sous terre. En effet, il n'est pas besoin de dire à quel point la sûreté du service doit se trouver accrue par ce moyen, les fils souterrains étant presque totalement mis à l'abri des lésions accidentelles et de celles par malveillance. On voit pareillement que par la présence d'une couche plus ou moins épaisse de sol humide et par conséquent conducteur, qui les recouvre, les fils souterrains doivent être soustraits soit aux ravages du tonnerre, soit aux autres influences de l'électricité atmosphérique moins violentes, mais, à raison de leur plus grande fréquence, plus préjudiciables encore à la sûreté du service. Malheureusement, vis-à-vis de ces avantages incontestables, est venue se placer, dès le début, l'apparente impossibilité d'atteindre à un isolement suffisamment parfait des fils souterrains. Aussi est-ce vers ce but qu'ont été dirigés, depuis l'origine de la télégraphie électrique, de nombreux efforts, restés pour la plupart infructueux. Cependant la difficulté a fini par être complètement vaincue, et je m'en vais tracer à présent, en peu de mots l'historique de cet important progrès de la télégraphie électrique.

Historique de l'invention des fils souterrains. — M. Jacobi de Saint-Pétersbourg est le premier qui s'est occupé avec succès de l'établissement des fils souterrains. A cet effet, il essaya d'abord de loger les fils dans des tubes de verre réunis bout à bout, puis il voulut les couvrir de caoutchouc en bandes étroites qu'il enroulait autour d'eux;

mais il échoua des deux manières. En Angleterre et dans les États-Unis d'Amérique on eut recours, sur des trajets de peu d'étendue, à des conduits de fonte ou de plomb pour protéger contre l'humidité du sol l'enduit de coton verni dont les fils étaient recouverts; toutefois, le degré d'isolement atteint ne se trouva pas suffisant.

Les choses en seraient sans doute restées là encore bien longtemps, si, à la même époque, l'industrie n'avait pas été enrichie d'une nouvelle matière, dont le pouvoir isolant n'est égalé que par sa merveilleuse aptitude à se prêter, sous l'influence de la chaleur, aux formes les plus variées. On entend bien que je veux parler de la *gutta-percha:* et en effet, je n'en eus pas plutôt manié les premiers échantillons, que je sentis tout le parti qu'on devait pouvoir tirer de cette substance pour la solution du problème des conduits électriques souterrains.

Ce fut en automne 1846 que je commençais mes expériences. Dès le printemps de 1847 elles furent assez avancées pour que je pusse proposer à la Commission de télégraphie électrique de Berlin d'adopter le système des fils souterrains basé sur l'emploi de la gutta-percha comme enduit isolant. La Commission me chargea d'abord de l'exécution d'une ligne d'épreuve de $2^1/_2$ milles d'Allemagne (à peu près 19 kilomètres) de longueur aux environs de Berlin, et ce premier essai ayant réussi, la Commission au printemps de 1848 adopta définitivement mon système pour toutes les lignes télégraphiques à exécuter dans l'étendue de la monarchie prussienne à l'exclusion seulement des trajets où n'existeraient encore ni grandes routes, ni chemins de fer.

A dater de cette époque, sept grandes lignes télégraphiques souterraines ont été établies en Prusse, en majeure partie sous ma direction, pour le service de l'État. Ces lignes représentent actuellement une longueur totale de plus de 300 milles d'Allemagne (à peu près 2500 kilomètres). A la fin de cet été (1850) cette longueur se trouvera déjà plus que doublée par l'exécution de nouvelles lignes de l'État et de lignes à l'usage des chemins de fer. D'ailleurs les gouvernements autrichien et saxon ont également adopté pour leur lignes télégraphiques mon système de conduction souterraine.

Fabrication du fil enduit de gutta-percha. — Les fils de cuivre rouge ont de $1^{mm},9$ à $2^{mm},5$ de diamètre. Ils sont recouverts d'un enduit de gutta-percha sulfurée de la même épaisseur que le fil, parfaitement continu, et, en particulier, sans suture longitudinale. Voici l'exposé sommaire du procédé qui sert à enduire le fil de gutta-percha.

Une boîte métallique en forme de parallélépipède est percée, à l'une de ces faces, d'une série de trous du diamètre du fil nu, et à la face opposée d'une série correspondante de trous du diamètre du fil enduit. A travers les trous correspondants sont établis les fils nus, de manière, toutefois, à être centrés dans les trous de la large espèce. La boîte est chargée de gutta-percha sulfurée à l'état plastique et

soumise à une pression assez considérable pour qu'elle tende à s'échapper par les orifices annulaires qui subsistent entre le fil nu et les parois de la boîte dans les trous de la large espèce. Mais en sortant par ces orifices, la masse plastique adhère au fil et l'entraîne dans son jet, en le recouvrant d'une couche d'épaisseur égale sur tous les points. La fabrique de MM. Fonrobert et Pruckner à Berlin, jusqu'ici la seule en possession de cette industrie, fournit par jour à peu près 40 kilomètres de fil enduit de gutta-percha.

Procédés pour s'assurer de l'isolement du fil. — Quelques précautions que l'on prenne dans la confection du fil, il arrive pourtant de temps à autre qu'il présente des points où, par une légère solution de continuité de l'enduit, due surtout à la présence de petites bulles d'air comprimé dans la masse plastique, l'isolement se montre plus ou moins défectueux. Avant de livrer les fils à l'usage, il faut donc tâcher d'éliminer ces imperfections. Cela ce fait de la manière suivante.

L'ouvrier saisit de l'une de ses mains l'un des bouts d'une hélice à induction, dont l'autre bout communique à l'une des extrémités du fil. On fait passer successivement tous les points du fil dans un baquet plein d'eau acidulée, dans laquelle l'ouvrier tient l'autre main plongée. Les courants d'induction sont incessamment réveillés par l'action de l'appareil à lame vibrante du docteur Neef. Aussitôt que dans la marche progressive du fil à travers le baquet une solution de continuité de l'enduit permet à l'eau acidulée de fermer le circuit en se mettant en contact avec le fil métallique, l'ouvrier est en proie à des commotions tellement vives, qu'elles ne sauraient échapper à la vigilance même la plus obtuse.

Après qu'on a fait disparaître, à l'aide d'artifices faciles à imaginer, les défauts d'isolement rendus ainsi manifestes le fil est soumis à une dernière épreuve, qui consiste à l'immerger en même temps dans toute sa longueur, ses deux bouts exceptés, dans un baquet d'eau acidulée, dans laquelle plonge l'une des extrémités d'un galvanomètre de 12000 tours à aiguille astatique, dont l'autre extrémité communique, par l'intermédiaire d'une pile de 8 couples de Daniell, à l'un des bouts du fil. Le moindre défaut d'isolement qui existe encore dans le fil, se trahit aussitôt par la déviation de l'index du galvanomètre.

Etablissement des fils souterrains. — On couche les fils, sans autre lit artificiel, dans la tranchée ouverte sur le plateau du chemin de fer à une profondeur de $0^{m},8$. On a soin de souder les bouts du fil qui atteignent une longueur d'environ 300 mètres, et d'envelopper de gutta-percha les soudures. Le passage des ponts s'effectue dans des tubes de fer. De pareils conduits existent encore partout où, par suite de circonstances particulières, l'on est obligé de donner au fil une position plus rapprochée de la surface du sol. S'il s'agit de franchir des eaux en l'absence de ponts, ou bien là où il n'y a que des ponts-levis, le

même procédé est encore mis en usage; seulement les tubes sont pourvus, de distance en distance, de joints, de manière à rappeler l'aqueduc submergé à queue de homard de l'illustre ingénieur écossais.

Procédés pour explorer l'isolement et la continuité du fil. — Comme dans le transport et l'établissement du fil il est exposé à bien des chances d'accident, il est nécessaire, pendant le progrès du travail, de pouvoir s'assurer de temps en temps s'il n'y a pas solution de continuité, soit du fil métallique, soit de l'enduit isolant. Cela se fait aisément ainsi qu'il suit.

A la station, où l'on commence à coucher le fil, on place un mouvement d'horlogerie, qui, de deux en deux minutes, fait communiquer pendant quelques secondes l'extrémité du fil au sol. Chaque fois que les ouvriers sont arrivés à un bout du fil, ils établissent de leur côté une communication permanente entre son extrémité libre, un galvanomètre, une pile et le sol. Si le fil métallique est intact, il faut que de deux en deux minutes l'aiguille éprouve une déviation, et si l'isolement est parfait, il faut que dans les intervalles elle revienne à zéro.

Procédés pour découvrir le lieu précis de solutions de continuité, soit de l'enduit isolant, soit du fil métallique. — Malgré toutes ces précautions il peut se faire que sur une ligne souterraine d'exécution irréprochable à l'origine il se développe dans le cours du temps des défauts d'isolement ou de conduction plus ou moins graves. Ce sont ou bien des lésions de l'enduit, qui, effectuées dans le transport ou dans l'enterrement du fil, donnent peu à peu accès à l'humidité du sol, ou bien de pareilles lésions produites par la pioche des ouvriers terrassiers dans les travaux imprudemment exécutés dans le voisinage du fil sur le plateau du chemin de fer, ou bien enfin des lésions dues à la malveillance. Ces deux dernières causes peuvent même amener une rupture totale du fil. Il s'agit donc maintenant de trouver les moyens de reconnaître sans trop de peine et dans le plus court délai possible le lieu précis de ces deux genres de lésion.

Quant aux défauts d'isolement, l'opération est susceptible d'être singulièrement abrégée à l'aide d'une formule que je vais indiquer. Désignons par A et B les stations télégraphiques, entre lesquelles existe la lésion de l'enduit. Nous nommerons extrémité A, extrémité B du fil, les extrémités qui se trouvent aux stations A et B. Soient de plus a et b les résistances du fil comprises entre les stations A et B et le lieu de la lésion, α et β les résistances qu'éprouve un courant à passer du fil au sol par les plaques métalliques submergées aux stations A et B, enfin γ la résistance qu'un courant éprouve à passer du fil au sol à l'endroit de la lésion. Alors, faisant communiquer directement au sol s'extrémité B du fil et l'extrémité A par l'intermédiaire d'une pile, et nommant d'ailleurs s et s' les intensités des courants mésurées en A et B à l'aide de galvanomètres comparables, on aura

$$s' = \left(\frac{\gamma}{b+\beta+\gamma}\right) s,$$

d'où l'on tire

$$\frac{b+\beta}{\gamma} = \frac{s-s'}{s}.$$

Maintenant, qu'on renverse la disposition de manière que ce soit l'extrémité A, qui communique directement au sol, et l'extrémité B, où se trouve la pile. En donnant au courant la direction contraire dans le fil, afin que la polarisation en γ ait la même valeur qu'auparavant, et nommant d'ailleurs σ et σ' les nouvelles intensités des courants en A et B, l'on aura cette fois

$$\frac{a+\alpha}{\gamma} = \frac{\sigma-\sigma'}{\sigma}.$$

En divisant la seconde équation par la première, on élimine γ et l'on trouve:

$$\frac{a+\alpha}{b+\beta} = \frac{(\sigma-\sigma')\,s'}{(s-s')\,\sigma'},$$

d'où l'on déduit le rapport de a et b. Dans cette formule, on n'a pas tenu compte de la résistance de la pile; mais sur des lignes télégraphiques d'une longueur tant soit peu considérable, cette resistance par rapport aux autres résistances est assez petite pour être négligée sans inconvénient. La même considération pourra presque toujours s'appliquer aux constantes α et β, dont la somme revient à ce que l'on est convenu d'appeler la résistance de la terre; sinon, il faudra avoir déterminé α et β par des expériences préalables.

Quelque imparfaites que restent nécessairement les mesures de ce genre, la formule que je viens de donner, sert pourtant à déterminer le lieu d'une lésion de l'enduit isolant à un centième près de la longueur des lignes tant soit peu étendues et d'ailleurs bien isolées. On arrive par là du moins à connaître les deux stations du chemin de fer, entre lesquelles existe la lésion. Pour en reserrer le lieu entre les limites plus étroites, on procède de la manière suivante.

Les extrémités A et B du fil étant isolées, l'on se transporte au milieu du trajet compris entre les deux stations du chemin de fer, on y coupe le fil, et l'on en réunit successivement les deux bouts au sol par l'intermédiaire d'une pile et d'un galvanomètre d'une sensibilité appropriée. Evidemment la lésion doit se trouver du côté de l'endroit coupé, où l'on observe une déviation de l'aiguille. Ainsi la longueur du fil qui renferme la lésion, est réduite de moitié. Après avoir rétabli le fil, on va répéter la même opération au milieu de la distance comprise entre les nouvelles limites, et ainsi de suite. Douze bisections pareilles à peu près, entre deux stations du chemin de fer de la distance moyenne usitée en Allemagne (20 kilomètres), suffisent pour

préciser le lieu de la lésion à quelques mètres près. Alors il n'y a plus qu'à déterrer une longueur correspondante du fil et à rétablir l'intégrité de l'enduit par les procédés convenables.

Pour déterminer le lieu d'une rupture du fil métallique, on établit à l'une des stations télégraphiques une pile en communication d'une part avec le fil, de l'autre avec le sol. On s'assure de l'intégrité du circuit entre un endroit donné et la pile, en plongeant dans l'enduit isolant, jusqu'au contact du fil métallique, un stylet acéré, au bout duquel on applique la langue; on reconnaît aisément la présence du courant à la saveur particulière qu'il développe. Quoique ce moyen suffise, il va sans dire que l'on peut aussi se servir du galvanomètre.

Si l'on a eu soin, dans l'établissement de la ligne, d'établir de distance en distance des points d'un accès facile au fil souterrain, et si dans le cours de l'opération on accélère le transport des ouvriers à l'aide d'une draisine, il suffit d'un couple d'heures pour rétablir l'intégrité soit du fil métallique, soit de l'enduit isolant, sur un trajet d'une vingtaine de kilomètres.

Frais des fils souterrains. — Le prix du fil enduit de gutta-percha, tel qu'il est employé sur les lignes du gouvernement prussien, est à Berlin à peu près 400 francs par kilomètre, le kilomètre pesant 50 kilogrammes. Pour les lignes des chemins de fer on se contente d'un fil qui ne pèse que la moitié, et dont le kilomètre en conséquence ne revient qu'à un peu plus de 200 francs. L'établissement du fil revient dans l'Allemagne septentrionale à 80—100 fr. par kilomètre, dépense qui toutefois se répartit également sur le nombre de fils que l'on couche à la fois.

Avantages des fils souterrains. — Les frais des fils souterrains en place excèdent donc dans la plupart des cas ceux des fils aériens. Outre cet inconvénient on peut leur en reprocher encore un autre, savoir que, pour établir des fils additionnels sur une ligne télégraphique déjà existante, il faut ouvrir une nouvelle tranchée dans toute l'étendue de la ligne, tandis que, dans le système des fils aériens, les mêmes poteaux peuvent servir pour augmenter à volonté jusqu'à une certaine limite le nombre des fils suspendus.

Malgré cela, comme on va le voir, l'avantage, même sous le rapport des frais, est incontestablement du côté du système souterrain.

Effectivement les conduits aériens sont sujets à deux causes de détérioration qui en nécessitent le renouvellement à des époques plus ou moins rapprochées. L'une de ces causes réside dans la pourriture des poteaux continuellement exposés à toutes les intempéries de la saison; l'autre, dans une modification moléculaire qui s'opère dans les fils, soit par la transmission incessante des courants électriques, soit par la tension à laquelle ils sont soumis et les vibrations qui en résultent à chaque courant d'air. Par suite de cette modification les fils, après

un certain temps, deviennent cassants au point de se rompre, surtout par un froid rigoureux, par l'effet d'un simple coup de vent. Cet accident se reproduisant presque journellement sur les divers points de lignes étendues, il devient indispensable de renouveler les fils.

Les fils souterrains, au contraire, depuis trois ans qu'ils sont en terre, n'ont encore éprouvé la moindre altération appréciable de leur surface. On en peut conclure qu'il s'écoulera un temps presque indéfini jusqu'à ce que l'altération, dont ils pourraient être menacés, atteigne le fil metallique. Ils ne sont pas sujets à se rompre, même quand ils seraient devenus cassants par l'effet de la transmission des courants, puisqu'ils ne sont soumis à aucune espèce d'effort mécanique. La durée de service des fils souterrains étant ainsi assurée, tandis que celle des fils aériens est restreinte à des limites assez étroites, il est évident qu'en dernière analyse les premiers coûtent moins cher que les derniers.

Pour ce qui concerne la sûreté du service, il va vans diro d'abord que les mêmes détériorations, qui après un certain temps exigent impérieusement le renouvellement des fils aériens, commencent par porter atteinte à la régularité des communications, et que, sous ce rapport déjà, les fils souterrains offrent des garanties bien supérieures. Tandis que les fils aériens sont exposés à toute sorte d'accidents, ainsi qu'aux attaques de la malveillance, les fils souterrains, presque entièrement à l'abri des premiers, échappent encore facilement aux derniers, lors meme que leur parcours sur le plateau du chemin de fer ou de la grande route serait connu des agresseurs. Il y a plus, si l'isolement des fils souterrains n'est peut-être jamais aussi parfait que celui des fils aériens suspendus à l'aide de cloches dans des conditions atmosphériques favorables, cet isolement est, en revanche, complètement exempt des vicissitudes, auxquelles l'isolement des fils aériens est si fort sujet. Or, comme on l'a dit à l'entrée de ce chapitre, c'est précisément là le point essentiel. Aussi n'est-il pas beaucoup plus rare de voir les télégraphes électriques à fils aériens mis hors de service par l'effet d'une abondante pluie d'été, ou d'une copieuse chute de neige, que cela n'était le cas autrefois pour les télégraphes optiques. Les fils souterrains, au contraire, n'offrent pas même des traces de pareilles influences et fonctionnent par tous les temps, hiver et été, avec cette régularité qu'on avait d'abord eu l'espoir d'obtenir des télégraphes électriques, espoir auquel le système des fils aériens a si peu répondu. Enfin, et comme on pouvait s'y attendre, la marche les télégraphes souterrains n'est que très-rarement entravée par les influences de l'électricité atmosphérique, troisième grande classe de perturbations, qui, ainsi qu'on l'a vu plus haut, vient mettre le comble aux embarras qui compromettent la sûreté du service des télégraphes à fils aériens. Ni les courants d'électricité atmosphérique par un ciel serein, ni les cou-

rants induits par le mouvement des nuages électriques, ni enfin les décharges brusques et délétères en temps orageux n'ont de prise sur les fils souterrains à raison de la couche conductrice de sol humide qui les recouvre. Il ne reste pour les fils souterrains, en fait de perturbations de ce genre, que des courants provenant du choc en retour, qui se manifestent parfois dans le circuit en temps d'orage ou moment d'une forte décharge.

Phénomènes remarquables qu'offrent les conduits souterrains. — Voici un phénomène bien remarquable qu'on a constamment l'occasion d'observer sur de longues lignes télégraphiques bien isolées. Supposons que l'extrémité B du fil soit isolée, et qu'on fasse communiquer l'autre A à une pile dont l'autre pôle est réuni au sol. A l'instant où l'on établit la communication, on observe dans les parties du fil qui ne sont pas trop éloignées de la pile, un courant de courte durée dans la direction du courant instantané qui s'établirait, si l'on fermait le circuit en réunissant l'extrémité B au sol; sur les lignes d'isolement parfait, il ne reste aucune trace de ce courant. Remplçant tout à coup, à l'aide d'une bascule, la pile par un conducteur inerte, on obtient un second courant instantané d'intensité à peu près égale à celle du premier, mais cette fois en sens inverse. Rompant ensuite à l'extrémité A toute communication avec la pile et le sol, de manière à tenir cette extrémité isolée, et réunissant au même instant au sol l'extrémité B, on observe encore un courant instantané d'intensité à peu près égale et cette fois de nouveau dans le sens du premier, c'est-à-dire du courant continu de la pile à circuit fermé. Cette dernière expérience ne peut se faire, bien entendu, que lorsqu'on dispose d'une ligne à double fil conducteur souterrain; alors les extrémités A et B du fil sont supposées se trouver à la même station, les extrémités correspondantes du double fil, à la station opposée, étant réunies bout à bout et isolées du sol de manière à ne former qu'un circuit unique.

On pourrait, au premier coup-d'œil, et en n'ayant égard qu'à la direction des courants, être tenté d'admettre que ces phénomènes sont dus à des polarités secondaires développées sur le fil. Mais bien des faits viennent combattre cette opinion. 1°. Les phénomènes sont d'autant plus prononcés que le fil est mieux isolé. 2°. Les courants sont de beaucoup plus courte durée que ceux dus aux polarités secondaires. 3°. L'intensité des courants est proportionnelle à la force de la pile, et indépendante de l'intensité du courant dérivé, s'il en existe par suite d'imperfections de l'isolement; il s'ensuit que l'intensité des courants instantanés peut dépasser de beaucoup le maximum auquel, dans le même circuit, l'intensité du courant dû aux polarités secondaires est assujettie. 4°. Enfin, l'intensité des courants instantanés est proportionnelle à la longueur du fil, tandis qu'une relation inverse devrait avoir lieu, si ces courants provenaient de la décharge de polarités secondaires.

Ainsi, il n'y a pas à songer à ces polarités pour l'explication du phénomène. Mais, pour le comprendre très-facilement, il n'y a qu'à se rappeler la belle expérience, par laquelle Volta fournit la preuve la plus éclatante de l'identité du galvanisme et de l'électricité. Le physicien de Côme montra qu'en faisant communiquer au sol l'une des extrémités d'une de ses piles et l'autre à l'armature interne d'une batterie de Leyde non isolée, l'on obtient, dans un espace de temps presque insensible, une charge de la batterie proportionnelle à la force de la pile. En même temps, on observe dans le conducteur, entre la pile et l'armature interne, un courant instantané qui, d'après Ritter, offre toutes les propriétés d'un courant ordinaire.

Or, il est évident que le fil souterrain, avec son enduit isolant, peut être exactement assimilé à une immense batterie de Leyde. Le cristal des jarres, c'est l'enduit de gutta-percha; l'armature interne, c'est la surface du fil de cuivre rouge; l'armature externe enfin, c'est le sol humide qui fonctionne, en ce cas, comme la main dans la première expérience du chanoine de Dantzig. Pour se faire une idée de la capacité de cette nouvelle espèce de batterie, il n'y a qu'à réfléchir que la surface du fil équivaut à environ 7 mètres carrés par kilomètre.

Faisant communiquer le fil par l'une de ses extrémités à une pile, dont l'autre extrémité communique au sol, tout en maintenant isolée l'autre extremité du fil, il faut que le fil prenne une charge de même signe et de même tension que le pôle de la pile qu'on lui fait toucher. C'est là ce qui se passe dans le premier des courants instantanés, dont je viens de dénoter la présence. Dans l'expérience de Volta, en rompant la communication entre la pile et la batterie, et en établissant un arc conducteur entre les deux armatures, on obtient la décharge comme à l'ordinaire. C'est à cette décharge que correspondent, comme il est aisé de voir, les deux courants instantanés que l'on observe en sens inverse l'un de l'autre aux deux extrémités du fil, en faisant communiquer ces extrémités au sol, à l'exclusion de la pile. On comprend d'ailleurs que le premier courant instantané, celui dans lequel s'opère la charge du fil, doit se produire également, quoiqu'à une moindre intensité, lors même que l'autre extrémité du fil communique au sol. Le courant instantané alors précède le courant continu, ou, si l'on aime mieux, s'ajoute à lui dans les premiers moments. Du reste, ce courant instantané a une intensité beaucoup plus grande que le courant continu, sans doute parce que, dans l'acte de la charge du fil, l'électricité, pour se rendre aux différents points du fil, parcourt des chemins d'autant plus courts que ces points sont plus rapprochés de la pile.

Quoi qu'il en soit, ces phénomènes, que je signale à l'attention des physiciens, impliquent, dans la construction d'appareils destinés à

desservir les lignes télégraphiques souterraines, certaines dispositions dont il sera question plus tard.

Une autre singularité qu'offrent les fils souterrains c'est que, quand il y a un circuit dérivateur par suite de l'isolement défectueux du fil, le courant dérivé qui existe dans ce circuit paraît constamment d'une intensité plus grande quand le fil prend à la pile l'électricité positive qu'en établissant la communication en sens contraire. Malheureusement, l'étude de ce phénomène laisse encore beaucoup à désirer, par la raison qu'il ne se produit d'une manière tranchée que sur les lignes d'un isolement très-défectueux.

Je m'exprimerai avec plus de réserve sur un troisième phénomène que je crois avoir constaté sur les lignes souterraines, c'est la production de courants d'intensité et de direction variable par l'effet des variations des éléments du magnétisme terrestre, qui accompagnent les aurores boréales. J'ai observé le fait le plus saillant de ce genre le 18 octobre 1848 sur la ligne de Berlin à Coethen de 20 milles d'Allemagne (environ 150 kilomètres) de longueur, dirigée à peu près de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O., par conséquent presque normale au méridien magnétique. A la nuit tombante une magnifique aurore boréale se déclara à l'horizon, et dans le cours de la même soirée, comme i'appris plus tard par les journaux, tous les télégraphes électriques de l'Angleterre refusèrent le service. Du reste, les fils aériens semblent devoir être également soumis à la même influence: seulement au milieu des nombreuses perturbations dont ces fils sont le siège, les courants d'induction magnéto-tellurique ne pourront pas être aussi facilement distingués.

CHAPITRE II. — *Des appareils télégraphiques.*

Division des télégraphes électriques en deux classes. — Les télégraphes actuellement en usage peuvent être répartis en deux classes, savoir: 1° en télégraphes que je nommerai *à signaux combinés*, et 2° en télégraphes *alphabetiques* ou *à cadran*. Dans les télégraphes de la première espèce, chaque signal, équivalent par exemple à une lettre de l'alphabet, résulte de la combinaison d'un certain nombre de signaux élémentaires simultanés ou successifs. Dans les télégraphes de la seconde espèce une aiguille qui parcourt un cadran par une succession de mouvements élémentaires de même nature est susceptible de s'arrêter en un point choisi du cadran et d'établir ainsi la correspondance.

Comparaison des deux classes de télégraphes électriques. — Si l'on fait la comparaison de ces deux grandes classes d'appareils télégraphiques, on arrive bientôt à voir que, sous le rapport si essentiel de la sûreté du service, les télégraphes à cadran l'emportent d'une manière notable sur ceux à signaux combinés. En effet, tandis que ces derniers exigent

de la part des employés une dextérité particulière souvent très-considérable et très-difficile à acquérir, les télégraphes à cadran sont d'un usage facile, et pour ainsi dire à la portée de tout le monde. Les signaux des télégraphes à cadran se réduisent toujours à la coïncidence d'une aiguille avec un des signes inscrits autour du cadran; il ne faut, pour les saisir, qu'un seul acte d'attention de la part de l'employé qui reçoit la dépèche. Au contraire, les signaux combinés exigent autant de pareils actes qu'il y entre de signaux élémentaires. Cette espèce de signaux doit donc nécessairement fatiguer beaucoup plus l'attention des stationnaires, et les chances d'erreur se trouvent pour elle multipliées par le nombre moyen des signaux élémentaires qui entrent dans la composition d'un signal combiné. Il y a plus: à l'instant où, par une cause quelconque, les aiguilles des télégraphes à cadran se sont détachées, l'employé est mis au fait de l'accident soit par l'incohérence de la dépêche, soit, si elle est en chiffres, par le désaccord entre les signaux de rapport. Dans les télégraphes à signaux combinés, chaque signal étant indépendant de ceux qui ont précédé, l'employé en recueillant la dépèche n'est averti par rien de ce qu'elle est fautive, ce qui peut donner lieu aux plus graves inconvénients. Et bien entendu, l'impression des dépèches, ou leur fixation immédiate par tout autre procédé, ne saurait rémédier à ce défaut, puisque ce mode de transmission est bien capable d'éliminer les fautes de lecture, mais non celles provenant de désordre des appareils.

Ainsi, la supériorité des télégraphes à cadran sur ceux de l'autre espèce, sous le rapport de la sûreté, se trouve en principe bien établie. Si malgré cela, les télégraphes à signaux combinés sont aujourd'hui de beaucoup les plus répandus, il en faut chercher la raison dans plusieurs circonstances. D'abord, le mécanisme des télégraphes à cadran est en général plus compliqué, et, par suite, le prix en est plus élevé. Ensuite, ces télégraphes ne paraissaient pas, jusqu'à présent, susceptibles de fonctionner avec la même vitesse que les télégraphes à signaux combinés, parce qu'il y a toujours entre chaque lettre et la suivante, le temps perdu que l'aiguille met à parcourir la partie de la circonférence du cadran comprise entre les deux lettres. Enfin, dans les essais qu'on avait fait jusqu'ici, la marche des télégraphes à cadran s'était toujours montrée excessivement sujette à toutes sortes de désordre, surtout par des variations de l'intensité des courants, comme elles ont lieu si fréquemment dans les circuits à fils aériens.

Dans la construction du télégraphe à cadran, dont on va lire une description sommaire, je crois avoir été assez heureux pour conserver tous les avantages de cette espèce d'appareils, tout en trouvant les moyens d'en éviter, du moins en grande partie, les inconvénients.

Description d'un nouveau télégraphe à cadran. — Qu'on s'imagine une pièce de fer doux pivotant autour d'une axe qui passe par son

centre de gravité, et servant d'armature à un aimant temporaire, dont toutefois un ressort tend constamment à la tenir éloignée. Quand on ferme le circuit d'une pile et de l'aimant, l'armature est attirée. Mais les choses sont disposées de manière que, par ce mouvement même de l'armature, le circuit se rouvre. Aussitôt le ressort reprend le dessus et rappelle l'armature; mais par ce mouvement même de l'armature, opéré en sens inverse du premier, le circuit est fermé de nouveau. On comprend que le même jeu doit se reproduire indéfiniment, et de là des oscillations de l'armature, qui peuvent acquérir une très grande vitesse, proportionnelle toujours à l'intensité du courant qui anime l'aimant temporaire. Ces oscillations de l'armature sont le principe moteur de mon télégraphe.

En effet, l'armature porte un levier, à l'extrémité duquel se trouve un encliquetage s'engageant dans les dents d'une roue à rochet. Chaque rappel de l'armature fait faire un pas à la roue, qui tourne ainsi dans une direction déterminée avec une vitesse proportionnelle à l'intensité du courant. L'axe de la roue porte une aiguille qui parcourt incessamment le cadran à signaux. Autour du cadran sont incrites les lettres de l'alphabet ou tels signes qu'on voudra, en nombre égal à celui des dents de la roue à rochet. A chaque oscillation de l'armature répond donc un signe parcouru par l'aiguille du cadran.

Inutile de dire, du reste, que le levier d'encliquetage sert aussi à fermer et à rouvrir le circuit. A cet effet, ce levier oscille entre les deux bras d'une espèce de fourche susceptible d'un petit mouvement latéral de va-et-vient dans le plan qui passe par les deux bras de la fourche. Ce petit mouvement latéral, dans l'un des sens, a pour résultat de fermer le circuit, en établissant le contact entre le bras correspondant de la fourche et une pièce d'arrêt conductrice. Le mouvement latéral de la fourche dans l'autre sens, au contraire, a pour résultat d'ouvrir le circuit en mettant fin au contact qui vient d'être indiqué. Dans cette direction le mouvement de la fourche est limité par un butoir en pierre, et par conséquent isolant. Dans ses excursions de chaque côté le levier vient alternativement s'appuyer sur l'un et l'autre bras de la fourche, et la déplacer tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. On comprend donc, comment il fait pour fermer et rouvrir alternativement le circuit. Mais pour assurer la position de la fourche dans les deux qui, situé sons le levier temps, il y a encore une disposition particulière. L'espèce de levier d'encliquetage, porte la fourche, se prolonge, au delà, en un ressort dont l'extrémité est garnie d'une pierre taillée en forme de cône obtus. Le sommet de ce cône obtus. Le sommet de ce cône s'appuie sur une pierre taillée en forme de toit à angle très ouvert. Chaque fois que le levier d'encliquetage fait changer de position à la fourche, le cône franchit l'arête du toit; et l'action du ressort qui tend à faire glisser le sommet du cône sur le plan incliné du toit, presse le bras de la

fourche contre le butoir correspondant, et empêche ainsi le circuit de se fermer ou de se rouvrir par l'effet des tremblemants de la fourche, avant que le levier, à la fin de l'excursion suivante, vienne lui-même remplir cet office en temps opportun.

A la station opposée de la ligne télégraphique se trouve un appareil tout semblable, et le même courant, provenant de deux piles disposées dans le même sens aux deux stations, anime les électro-aimants des deux appareils. L'interruption d'un circuit en un seul endroit suffisant pour enrayer le courant dans toute l'étendue du circuit, on comprend à l'instant que chaque fois que l'armature est rappelée dans l'appareil *A*, elle l'est également dans l'appareil *B*. Mais il n'est pas moins évident que l'armature *A* ne peut être attirée de nouveau par suite du rétablissement du contact en *A* avant que le ressort ait également rétabli le contact en *B*. Il s'ensuit que les oscillations des armatures en *A* et *B* devront être parfaitement synchrones. Donc aussi les mouvements des aiguilles sur les cadrans en *A* et *B* devront se correspondre exactement, et si, à l'origine, elles ont été disposées d'une manière homologue, elles devront à chaque instant de leur course spontanée, incessante et rapide indiquer la même lettre du cadran.

Pour transmettre des signaux à l'aide de ces appareils il n'y a donc plus qu'à trouver le moyen d'arrêter l'aiguille à une lettre donnée, la même sur les deux cadrans. Ce moyen est bien simple. Il suffit évidemment pour cela d'empêcher le circuit de se fermer de nouveau par l'action du ressort de l'appareil *A*, quand l'aiguille sera arrivée à la lettre donnée, puisqu'alors le circuit restant également ouvert pour l'appareil *B*, le courant ne pourra plus passer, et qu'aucune des deux armatures ne sera attirée jusqu'à ce qu'on ait permis au ressort de l'appareil *A* de fermer le circuit. A cet effet, on a disposé autour du cadran, qui d'ailleurs est horizontal, un clavier circulaire dont les touches correspondent aux lettres du cadran. En pressant une touche on abaisse une cheville que vient rencontrer un bras fixé à l'axe de la roue à rochet parallèlement à l'aiguille du cadran. La roue se trouve ainsi arrêtée précisément au milieu du pas qu'elle allait accomplir par l'action du ressort; par suite, le levier d'encliquetage reste en suspens entre les bras de la fourche, et le circuit ne peut pas se fermer de nouveau par l'action du ressort jusqu'à ce qu'on ait enlevé l'obstacle en ôtant le doigt de la touche. A l'autre station rien n'empêche pendant ce temps la roue à rochet d'accomplir son pas en entier, et le ressort de fermer le circuit; mais le circuit étant ouvert en *A*, l'armature n'est point attirée de nouveau, et l'aiguille en *B* s'arrêtera donc à la lettre voulue un instant après celle de l'appareil *A*. Ainsi l'on a à chaque station un cadran, sur lequel, lorsqu'on est en correspondance, circule incessamment une aiguille que chacun des stationaires peut arrêter à volonté à chaque com-

partiment du cadran; presque au même instant l'aiguille sur le cadran de l'autre station s'arrête au même compartiment.

Carillon d'alarme et méthode de se mettre en correspondance. — A chacun de mes télégraphes est adapté un carillon d'alarme, dont la construction et le jeu reviennent presque exactement à ceux des appareils télégraphiques avec cette seule différence que le levier que porte l'armature ne sert plus à faire mouvoir la roue à rochet, mais que les oscillations de ce levier sont employées directement à frapper de coups redoublés le timbre du réveil.

Dans les temps de repos, lorqu'on ne veut pas correspondre, le circuit entre les deux stations *A* et *B* est formé uniquement du fil conducteur, de la terre, et, à chaque station, des bobines du carillon d'alarme, dont le ressort de rappel tient le circuit fermé. Quand le stationnaire *A* veut parler au stationnaire *B*, il retire du circuit son carillon et le remplace par une pile et par l'appareil télégraphique. Alors l'appareil télégraphique reste immobile, tandis que le carillon de la station *B* donne l'alarme.

D'après ce qu'on a vu plus haut à l'égard de la solidarité nécessaire des mouvements des aiguilles de deux de mes appareils, c'est-à-dire des oscillations de leurs armatures, il doit paraître surprenant que deux appareils semblables, le télégraphe et le carillon, puissent se trouver dans le même circuit, l'un marchant, l'autre ne marchant pas. Pour comprendre ce phénomène il faut se rappeler le fait, que le magnétisme temporaire du fer doux par l'action du courant ne prend tout son développement qu'après un certain temps écoulé. Qu'on s'imagine maintenant que dans deux appareils installés dans le même circuit, le ressort de rappel de l'un, *A*, soit hors de toute proportion plus fort ou plus tendu que celui de l'appareil *B*. Alors, quand l'armature de *B* aura déjà été attirée, l'aimant de *A* n'aura encore acquis peut-être que la force nécessaire pour faire équilibre au ressort; et le circuit s'étant ouvert en *B* par le mouvement de l'armature, il n'est pas non plus possible, en ce cas, que l'aimant de *A* acquière jamais cette force. L'armature de *A* restera donc forcément immobile, et le circuit constamment fermé de ce côté; il s'ensuit que l'appareil *B* marchera seul. Une semblable discordance peut encore se produire par d'autres causes, dont il sera question plus tard. Le moyen d'y rémédier est aisé à deviner. Il suffit pour cela de donner aux ressorts des deux appareils les tensions convenables à l'aide d'une vis accessible de dehors. Mais, dans les carillons d'alarme, c'est le contraire qu'on a fait; on a profité de la possibilité d'un pareil désaccord pour placer dans le même circuit le télégraphe de la station *A*, qui veut se mettre en correspondance, et le carillon de la station *B*, dont le gardien doit être averti. A cet effet, le ressort des carillons d'alarme a été fait plus faible que celui des télégraphes, au point que les appareils étant installés à la

fois dans le circuit, les premiers marchent déjà rapidement par l'action de la pile de l'autre station, tandis que les derniers dans ces circonstances restent encore immobiles.

L'utilité de cet arrangement est facile à saisir. En effet, pour achever d'établir la correspondance, le stationnaire *B*, averti par le réveil, retire du circuit son carillon d'alarme et le remplace par le télégraphe et la pile; aussitôt les télégraphes marchent ensemble. Cela ne pourrait pas avoir lieu, si le stationnaire *A*, en donnant l'éveil, n'avait pas d'abord introduit son télégraphe dans le circuit, et il n'aurait pas pu le faire, sans que, par suite, les aiguilles des deux télégraphes se fussent trouvées détachées l'une de l'autre, si son télégraphe n'était pas resté immobile pendant que le carillon de l'autre station marchait.

Il va sans dire que toutes ces opérations, qui, à la première vue pourraient paraître compliquées, se font simplement en donnant différentes positions au levier d'un commutateur. Avant d'entrer en besogne, les stationnaires s'assurent réciproquement de la marche correspondante de leurs aiguilles par un signal convenu, qui consiste à marquer les blancs du cadran. Si les aiguilles s'étaint détachées, on les règle à l'aide d'une disposition qui permet de mouvoir l'aiguille sur son cadran en faisant osciller l'armature à circuit ouvert par les pressions successives qu'on exerce sur un bouton.

Intensité des courants employés à faire marcher le nouveau télégraphe à cadran. — Comme marche normale de mes télégraphes à cadran je considère celle où l'aiguille parcourt par seconde la demi-circonférence, soit quinze signaux télégraphiques. Pour obtenir cette vitesse l'exclusion de résistances étrangères aux appareils, je fais usage d'une pile de 5 couples de Daniell pour chaque appareil. Mais le nombre de couples nécessaires est loin de s'accroître en proportion de la longueur du circuit télégraphique qui sépare les appareils. Ainsi, avec les fils souterrains, les nouveaux télégraphes marchent trés-bien à une distance de 50 milles d'Allemagne (environ 400 kilomètres), quand ils sont animés de chaque côté par une pile de 25 couples de Daniell. D'ailleurs, on ne fera usage de cette disposition que sur des lignes dénuées de stations intermédiaires. Là où de pareilles stations existent, il sera bien plus avantageux, quand il s'agira de correspondre entre les stations extrêmes, de faire simplement entrer dans le circuit les piles des stations intermédiaires, à l'exclusion des télégraphes qui s'y trouvent, que d'accumuler indéfiniment les couples aux stations extrêmes.

Appareil additionnel ou transmetteur servant à faire fonctionner le télégraphe à de grandes distances. — De quelque manière qu'on s'y prenne, il faudra toujours, pour faire fonctionner convenablement les télégraphes à de très grandes distances, augmenter le nombre des couples dans une proportion qui finit par entraîner de graves incon-

vénients. C'est pour parer à ces inconvénients, que je munis en ce cas mes télégraphes d'un appareil additionnel qui permet de n'employer, même aux plus grandes distances, que des piles d'un nombre de couples fort limité. Cet appareil offre en principe la disposition suivante.

Quand on ferme les circuits des piles des deux stations, le courant n'entre pas d'abord dans les bobines des aimants des deux télégraphes, quoiqu'il soit bien assujetti à franchir les lieux de contact dans ces deux appareils, dont les ressorts de rappel garantissent, en temps de repos, la perméabilité électrique. Au lieu de ces bobines le courant traverse celle des aimants temporaires des transmetteurs, vis-à-vis des pôles desquels pivotent des armatures tout semblables à celles déjà décrites du télégraphe et du carillon. Ces armatures sont disposées de manière qu'aussitôt qu'elles sont attirées, elles ferment une interruption qui existait jusqu'alors entre une pièce d'arrêt conductrice et un levier fixé aux armatures. Cette interruption reste fermée tout le temps que passe le courant. Quand le courant cesse, les armatures sont rappelées par des ressorts qui, à l'inverse des ressorts des télégraphes des carillons, tendent donc constamment à rompre le contact au lieu de le maintenir. D'ailleurs, ces établissements et ces ruptures de contact étant le seul travail dont les armatures des transmetteurs soient chargées, on a pu réduire extrêmement leur course et donner à leurs ressorts une tension incomparablement plus petite même que celle des ressorts des carillons. Donc aussi le moindre filet de courant suffira pour mettre en jeu ces appareils.

Maintenant, à l'instant où les armatures des aimants des transmetteurs établissent les contacts indiqués, le courant de la pile correspondante, qui jusqu'alors avait à parcourir uniquement le circuit télégraphique, y compris les bobines des transmetteurs et les lieux de contact des télégraphes, et qui dans cette route se renforçait du courant de la pile de la station opposée, trouve tout à coup à parcourir un circuit dérivateur beaucoup plus court et par conséquent beaucoup moins résistant. En effet, ce nouveau circuit, indépendamment des lieux de contact des transmetteurs, se compose, pour la pile de chaque station, uniquement des bobines du télégraphe correspondant. Il existe donc pendant tout le temps que les armatures des transmetteurs sont attirées, ou eien, ce qui revient au même, que les lieux de condact des télégraphes sont perméables, pour chaque pile deux circuits d'inégale résistance. L'un de ces circuits est formé, comme on vient de le voir, par les bobines du télégraphe; l'autre, c'est le circuit télégraphique lui-même qui, à l'autre station, se continue d'abord dans les bobines du transmetteur, et puis se ramifie en deux embranchements, la pile d'une part, les bobines du télégraphe de l'autre. Il est facile de comprendre que les intensités des courants, dans les différents circuits qu'on leur ouvre, étant en raison inverse des résistances de ces

circuits, les bobines des télégraphes se trouveront ainsi traversées par des courants bien plus intenses que si l'on leur avait fait faire partie simplement du circuit télégraphique avec les deux piles. Voilà donc les télégraphes qui entrent simultanément en action par l'effet du filet de courant qui seul franchit tout le circuit télégraphique. Examinons ce qui va se passer ultérieurement.

Les armatures des télégraphes sont attirées, et pendant le temps de leur coure rien n'est encore changé. Mais sitôt qu'arrivées au terme de cette course, les armatures interrompent le contact dans les télégraphes, le courant qui animait les aimants des transmetteurs cesse, l'armature de ces aimants est rappelée, et par suite le courant dérivé immédiatement de la pile qui animait les aimants du télégraphe cesse aussi. Les armatures des télégraphes retombent à l'appel de leurs ressorts et font faire aux deux aiguilles un pas correspondant. D'ailleurs, ces armatures, au terme de leur chute, venant de nouveau fermer le circuit télégraphique pour les bobines du transmetteur, le même jeu se renouvelle indéfinìment, comme dans le cas des télégraphes marchant sans transmetteurs.

Il va sans dire que le courant qui anime les aimants des transmetteurs, éprouve une diminution sensible de son intensité, aussitôt que ces aimants, par l'attraction de leurs armatures, ont fermé le circuit dérivateur de moindre résistance. Or, il peut se faire que le courant qui reste, ne soit plus capable alors de vaincre les ressorts de rappel des transmetteurs, en sorte que les aimants des télégraphes ne trouvent jamais le temps nécessaire pour faire décrire à leurs armatures une course complète. Les aiguilles des télégraphes restent donc stationnaires et le circuit télégraphique fermé, tandis que les armatures des transmetteurs oscillent rapidement sous la seule influence des variations dans l'intensité du courant qui parcourt leurs bobines; variations que ces armatures produisent elles-mêmes en fermant et rouvrant alternativement le circuit dérivateur. On peut rémédier à ce défaut, soit en détendant le ressort des transmetteurs, soit en introduisant dans le circuit télégraphique une pile auxiliaire d'une force appropriée, qui reste en dehors du circuit dérivateur, quand celui-ci est établi à travers les bobines des télégraphes.

En remplaçant à l'une des stations le télégraphe par le carillon, le premier reste immobile, pendant que le second marche; en sorte que la manœuvre pour donner l'éveil est encore tout à fait la même avec les transmetteurs que sans ces appareils.

Les transmetteurs ralentissant toujours un peu la marche des télégraphes, on fera bien de n'y avoir recours que sur des lignes d'une grande étendue sans stations intermédiaires. Pour bien faire marcher les télégraphes avec les transmetteurs, à l'exclusion de résistances étrangères aux appareils, il faut 3 couples de Daniell de chaque côté.

A une distance de 400 kilomètres entre les deux stations chaque pile devra être de 6 éléments.

Appareil à impression. — A chacun de mes télégraphes peut être adapté un appareil à impression, qui imprime en caractères ordinaires les lettres dont on abaisse les touches correspondantes. Voici quelle est en principe la construction de cet appareil.

Il y a d'abord un aimant temporaire, une armature avec son ressort, un levier d'encliquetage, une roue à rochet, tout semblables à ce qu'on a vu dans les télégraphes. Quand on fait entrer les bobines de l'aimant dans le circuit télégraphique, soit directement, soit par un mode de transmission analogue à celui qui vient d'être décrit, il s'entend que la roue marchera du même pas que celle des télégraphes. A la place de l'aiguille, l'axe de la roue porte cette fois-ci la roue-type de M. Wheatstone, divisée en autant de secteurs faisant ressort qu'il y a de signaux au cadran, chaque secteur portant un poinçon. Dans le mouvement de la roue, la lettre correspondante à celle qu'indique à chaque instant l'aiguille du cadran se trouve précisément au-dessus d'un marteau. Au-dessus de la roue est disposé un rouleau noirci, entre lequel et le poinçon passe la bande de papier à imprimer. Le rouleau est composé d'une multitude de disques de papier enfilés à son axe semblables à ceux dont se compose une pile sèche de Zamboni. Cet assemblage de disques a été comprimé à la presse hydraulique, et la tranche travaillée au tour.

Il ne s'agit donc plus, à présent, pour imprimer, que de faire en sorte que chaque fois que l'on abaisse une touche du clavier d'un des télégraphes, la marteau frappe son coup de bas en haut. Or il y a dans l'appareil un second aimant temporaire d'une grande puissance, que nous appellerons *l'aimant à impression*, et dont les bobines sont en relation avec une pile auxiliaire ou locale.

Le levier d'encliquetage oscille comme dans le télégraphe, au-dessus d'un levier muni d'une pièce analogue à celle que, dans le télégraphe, nous avons nommée *fourche*. Mais cette pièce se distingue da la fourche en question en ce qu'elle n'a plus qu'un seul bras. Elle est encore susceptible, comme dans le télégraphe, d'un petit mouvement latéral. Dans l'une des positions qui en résultent, le bras seul existant de la fourche appuie contre une pièce d'arrêt conductrice. Dans l'autre sens le mouvement du levier portant la fourche est limité par un butoir en pierre. Du reste les deux positions du levier sont, comme dans le télégraphe, assurées par un cône en pierre frottant à ressort sur un toit en pierre à angle très-ouvert. A l'endroit du levier d'encliquetage qui répond à la fourche, ce levier porte de chaque côté un bouton, l'un isolant, l'autre conducteur. Dans les temps de repos de l'appareil le bouton conducteur, par l'effet du ressort de rappel de l'aimant temporaire, s'appuie contre une pièce d'arrêt conductrice; quand l'armature

est attirée, au contraire, le levier va frapper de son bouton isolant le bras de la fourche, et lui inflige la position dans laquelle ce bras est au contact de la pièce d'arrêt conductrice.

Tout ce système, bien entendu, n'est plus engagé dans le circuit de l'aimant temporaire qui meut le levier d'encliquetage, et dont les alternatives d'aimantation proviennent du jeu des télégraphes; mais c'est le circuit de l'aimant à impression qu'il s'agit, à l'aide du système en question, de fermer et de rouvrir en temps opportun. Il existe donc, pour ce dernier circuit, deux lieux de contact, où il est sujet à être imterrompu. Supposons, en effet, le bras de la fourche dans la position où nous l'avions laissé, c'est-à-dire appuyé contre la pièce d'arrêt conductrice et le bouton conducteur du levier, par l'action du ressort également au contact de la pièce d'arrêt correspondante. Alors le courant de la pile auxiliaire chemine ainsi qu'il suit. Au sortir des bobines le courant entre dans le levier qui porte la fourche, passe à l'endroit d'interruption de la fourche dans la pièce d'arrêt conductrice, de là il gagne le levier d'encliquetage, franchit le second endroit d'interruption et en retourne ainsi à la pile et aux bobines.

Pour peu que le levier d'encliquetage s'écarte de la pièce d'arrêt correspondante par l'action de l'aimant temporaire engagé dans le circuit télégraphique, le circuit de l'aimant d'impression sera donc ouvert, et, pour peu que le bras de la fourche s'écarte de son côté de la pièce d'arrêt correspondante, le circuit sera également ouvert. A l'origine et quand l'impression doit commencer, la fourche se trouve dans cette dernière position, le levier d'encliquetage, au contraire, touche sa pièce d'arrêt conductrice; le circuit de l'aimant à impression est donc ouvert. Le courant télégraphique arrive; aussitôt le levier, par l'attraction de l'armature qui le porte, va chasser le bras de la fourche contre la pièce d'arrêt et mettre fin ainsi à l'une des interruptions du circuit d'impression. Le télégraphe, rouvrant le circuit de l'aimant, permet au levier d'obéir à l'action du ressort, le levier retombe contre l'arrêt conducteur, et, cette fois enfin, le circuit de l'aimant à impression est bien fermé. Mais il y a une autre circonstance qui vient encore l'empêcher d'agir. En effet, cette clôture n'est qu'instantanée, parce que l'armature à peine rappelée est attirée de nouveau par l'effet de la clôture du circuit télégraphique. Or, pour faire entrer en action l'aimant à impression qui n'est pas, comme les autres électro-aimants de mes appareils, composé de tubes concentriques et fendus dans leur longueur, il ne suffit pas d'un courant instantané. Son magnétisme, en ce cas, n'atteint pas la hauteur convenable. Mais qu'on vienne à presser l'une des touches du clavier de l'un des télégraphes, de manière à tenir tant soit peu plus longtemps ouvert le circuit télégraphique que cela n'a lieu dans la marche ordinaire de l'appareil; alors le levier d'encliquetage se reposant un moment contre sa pièce d'arrêt con-

ductrice, le circuit de l'aimant à impression reste assez longtemps fermé, le magnétisme a la temps de se développer et l'armature est attirée. Voici maintenant les diverses fonctions que, dans son mouvement, cette armature est appelée à remplir.

1°. Le marteau en suspens au-dessous de la lettre à imprimer est, comme on l'a sans doute deviné, fixé au bout d'un levier que porte l'armature de l'aimant à impression. Par attraction de cette armature le marteau frappe donc son coup, et la lettre correspondante à celle qu'indique l'aiguille du télégraphe se trouve imprimée sur le papier.

2°. Conformément à la distribution des signaux autour du cadran des télégraphes, deux secteurs diamétralement opposés de la roue-type sont restés vides. Donc quand le marteau vient à frapper l'un de ces vides, l'armature peut décrire un angle un peu plus grand que dans le cas des pleins, où le poinçon vient aussitôt rencontrer le rouleau à imprimer. Or cela a pour effet qu'un autre levier fixé à l'autre extrémité de l'armature peut, dans le cas des vides, atteindre un timbre d'horloge et le faire résonner. Comme, entre les mots de la dépèche, il est utile de laisser des blancs, on est, à chaque mot, en touchant les blancs du cadran, averti par le son du timbre qu'il y a accord entre les positions de l'aiguille sur le cadran et de la roue-type au-dessus du marteau. Si, par suite d'un accident quelconque, cet accord n'existait plus, il est toujours facile de le rétablir à l'aide d'une disposition qui permet de mouvoir la roue en faisant osciler l'armature à circuit ouvert par les pressions successives qu'on exerce sur un bouton.

3°. Si le circuit de l'aimant à impression restait fermé plus longtemps que cela n'est absolument nécessaire pour que l'armature puisse faire frapper leur coup aux marteaux, il en résulterait plusieurs inconvénients grave. La pression du marteau contre le rouleau serait d'abord continue. Le magnétisme acquerrait dans le fer doux un développement tel que l'aimant ne lâcherait point l'armature assez vite après la rupture du circuit. Par suite, le marteau pourrait accrocher la roue, et si cet accident n'arrivait pas, l'armature n'aurait certes pas le temps de retomber sous l'action de son ressort dans sa position primitive. Or on va voir que c'est dans sa chute que l'armature fait avancer du pas nécessaire le rouleau à imprimer, et d'ailleurs si le prochain coup de marteau ne partait que d'un point de la course de l'armature plus ou moins éloignée de l'aimant, il n'y aurait pas assez de force vive accumulée, et l'on ne pourrait pas imprimer deux lettres voisines du cadran. Enfin, comme immédiatement après la rupture du circuit il est sujet à être fermé de nouveau à de courts intervalles quoique pour de petits espaces de temps seulement, il pourrait même se faire que l'armature ne se détachât plus du tout de ses pièces d'arrêt.

Pour parer à ces inconvénients, il est donc de la plus haute importance que le circuit à impression soit ouvert l'instant après que la

lettre a été imprimée. Eh bien, c'est à cela que sert l'appareil à double interruption qui à été décrit plus haut. En effet, à l'instant même où le coup de marteau est frappé, un troisième levier fixé à l'armature vient imprimer à la fourche le mouvement latéral convenable pour l'écarter de sa pièce d'arrêt conductrice, contre laquelle elle avait été chassée par la première excursion du levier d'encliquetage. Le circuit à impression est alors ouvert, l'armature de l'aimant à impression a tout le temps de retomber, et quand on abandonne le télégraphe à lui-même en ôtant le doigt de dessus la touche, la première excursion du levier d'encliquetage commence par rétablir le contact entre le bras de la fourche et la pièce d'arrêt conductrice.

4°. Enfin, ainsi qu'il vient d'être indiqué, l'armature de l'aimant à impression remplit encore un dernier office indispensable. Cet office consiste à faire tourner le rouleau à imprimer d'un angle correspondant, à sa circonférence, à la largeur d'une lettre de la roue-type. Cela arrive à l'aide d'un levier d'encliquetage et d'une roue à rochet convenablement disposés. Le rouleau, en tournant, entraîne la bande de papier qui circule entre sa surface noircie et la roue-type. Mais on conçoit que ce simple déplacement du rouleau ne suffit pas. En effet, il en résulte que dans chaque nouveau tour du rouleau qui répond à cent lettres y compris les blancs, les lettres viendraient s'imprimer exactement aux mêmes endroits, en sorte que non seulement la couche de noir serait bientôt épuisée, mais qu'encore le rouleau s'userait de la manière la plus inégale possible. Pour que cela n'ait point lieu, il y a d'abord un arrangement tel que le rouleau soit déplacé d'une petite fraction de sa longueur à chaque pas de la roue à rochet; après cinq tours il se trouve déplacé à peu près de la hauteur d'une lettre. Mais de cette manière on comprend que l'impression s'opérerait toujours sur des bandes de la surface du rouleau parallèles à son axe, de sorte qu'il resterait entre ces bandes d'usage permanent des bandes plus étroites à la vérité, qui ne seraient jamais usées. On a donc encore pris la précaution d'imprimer au rouleau un petit mouvement de rotation en avant, qui devient cause que les empreintes du marteau dans chaque nouveau tour du rouleau ne répondent plus exactement aux empreintes faites dans le tour précédent, mais empiètent continuellement sur elles comme les traits d'un vernier sur ceux de la division.

Artifice pour préserver de détérioration les endroits du circuit, où éclate l'étincelle. — Tous les constructeurs d'appareils électro-magnétiques ne savent que trop combien les lieux d'interruption du circuit, où l'étincelle éclate, sont sujets à se détériorer rapidement par l'action de courants tant soit peu intenses, lors même qu'on fait usage du platine. Pendant longtemps aussi cette circonstance a semblé apporter un obstacle insurmontable à la marche régulière et prolongée de mes appareils, jusqu'à ce que je trouvai qu'en remplaçant le platine par un alliage

de ce métal et de l'or, on obtenait des revêtements des lieux d'interruption presque inaltérables par des courants de l'intensité de ceux que j'emploie. En effet, cet alliage possède une cohésion et une dureté bien plus grandes que celles du platine et ne participe presque en rien à la propriété de ce métal d'être réduit, en poudre et transporté au pôle négatif par l'action des courants.

Remarque générale sur le principe de construction des nouveaux télégraphes à cadran. — Après avoir donné la description des nouveaux mécanismes que j'ai inventés pour servir à la correspondance télégraphique, je vais entrer à présent dans quelques considérations propres à faire ressortir les principaux avantages que je crois leur appartenir.

La construction de ces appareils, comme on l'a vu, est d'une extrême simplicité. Il n'y entre aucun de ces mouvements d'horlogerie à poids ou à ressort qui compliquent si fort la plupart des autres télégraphes à cadran. Elle se rapproche par là, si l'on veut, de l'un des télégraphes à cadran de M. Wheatstone; mais, en principe, elle s'en distingue en un point capital.

Tout procédé de télégraphie électromagnétique se réduira toujours, en dernière analyse, à l'usage convenable qu'on fera, pour la transmission des signaux, d'une série d'aimantations et de désaimantations successives effectuées à l'aide de l'établissement et de la rupture d'un circuit. Dans tous les autres télégraphes à cadran, y compris celui de M. Wheatstone à action directe et ceux construits sur le même type, cette opération essentielle d'ouvrir et de fermer le circuit est mise entre les mains de celui qui donne la dépêche, et d'ailleurs la rupture ne se fait qu'à une seule des stations, celle où la dépêche est donnée. Au contraire, chacun de mes appareils constitue en soi une machine électromagnétique à mouvement propre, de sorte que dans ces appareils c'est le courant qui rompt lui-même le circuit et cela aux deux extrémités de la ligne à la fois. Cette circonstance qui leur est tout à fait particulière, implique une foule de conséquences remarquables dont je vais signaler quelques-unes des plus essentielles. Effectivement, le principe de l'interruption spontanée du circuit paraît devoir acquérir, en télégraphie électrique, la même importance que, dans l'art de construire les machines à vapeur, l'invention de cet enfant à qui l'ennui vint inspirer l'heureuse idée de se décharger sur le moteur lui-même du soin fastidieux d'ouvrir et de fermer, en temps opportun, les conduits de la vapeur.

Avantages résidant dans le principe de construction des nouveaux télegraphes. — Si, d'après ce qui a été dit au commencement du premier chapitre, il faut regarder comme se rapprochant le plus de l'idéal de conduits télégraphiques ceux dans lesquels l'intensité des courants est soumise ou moins de variation possible, il faudra, de l'autre part, considérer comme les plus parfaits des appareils télégraphiques ceux dont la marche, sans secours étranger qui leur vienne en aide,

est le moins affectée par les variations de l'intensité qui restent encore à surmonter. Or je crois ne pas trop hasarder en affirmant que, sous ce rapport, grâce au principe de l'interruption spontanée, il n'y a pas de télégraphes qui puissent être comparés aux miens.

Quand le soin de fermer et de rompre le circuit est abandonné à une action étrangère à l'appareil, il est à peu près impossible qu'elle dure chaque fois juste le temps nécessaire et suffisant pour que l'aimant attire l'armature. Ce temps nécessaire et suffisant est d'autant plus petit que l'intensité du courant est plus grande. On pourra, à la vérité, déterminer par expérience, pour une intensité donnée, la durée la plus convenable à accorder aux clôtures et aux interruptions du circuit. Mais dès que l'intensité du courant viendra à varier, surtout d'une grandeur inégale aux deux stations, comme cela a constamment lieu avec les fils aériens, on se trouvera de nouveau dans le vague: ou bien les clôtures ne dureront pas assez longtemps pour l'intensité présente du courant dans l'appareil récepteur, et alors l'aimant pourra ne pas attirer l'armature; ou bien elles dureront trop et alors l'armature pourra rester collée, par l'effet de l'aimantation temporaire. Dans les deux cas, l'appareil transmetteur devancera l'appareil récepteur et la correspondance sera troublée. C'est surtout pour diminuer les chances en faveur du dernier cas qu'il a fallu, dans les appareils de cette nature, réduire à des proportions minimes les masses de fer doux, parce que, à égale intensité du courant, l'aimantation temporaire est d'autant plus considérable que l'aimant est plus volumineux.

Au contraire, quand c'est l'appareil lui-même qui rompt le circuit au terme de la course de l'armature, il ne peut jamais se faire d'abord que le circuit ne reste pas assez longtemps fermé, l'interruption ayant toujours lieu au point nommé; c'est-à-dire à l'instant précis, où l'aimant a fourni le travail nécessaire pour faire avancer l'aiguille d'un pas. D'autre part, le circuit ne restera jamais fermé trop longtemps, car la quantité de magnétisme développée dans l'aimant sera toujours sensiblement la même au moment de la rupture du circuit, quelle que soit l'intensité du courant, parce que le mouvement de l'armature sera d'autant plus rapide et que la rupture se fera toujours à l'instant, où l'aimant aura acquis, dans un espace de temps plus ou moins court, selon l'intensité, une force réglée par la force constante du ressort, et, par suite, sensiblement constante elle-même. Quant au temps d'ouverture, à force égale du ressort, il sera toujours sensiblement le même; de sorte que, quand l'appareil marchera plus vite sous l'action d'un courant plus intense, le même degré d'aimantation temporaire aura toujours le même temps pour s'effacer, et que l'armature ne pourra jamais rester collée. On n'aura donc plus rien à craindre de l'aimantation temporaire, et, par conséquent, on pourra sans inconvénient augmenter la masse de fer doux; ce qui offre l'avantage de pouvoir exercer le même effet

avec un courant plus faible. Il est évident, de plus, que les mêmes actions se produisant dans chacun des deux appareils installés dans le circuit, leur marche continuera à être synchrone par cette seule raison, quelle que soit l'intensité du courant.

Mais la sûreté, sous ce rapport, s'accroît encore considérablement, par le fait que l'interruption du circuit s'opère simultanément aux deux extrémités de la ligne. En effet, chacun des deux appareils tenant, pour ainsi dire, le courant sous clef pour l'autre jusqu'au moment convenable, l'intensité des courants pourra être différente dans les deux appareils, et néanmoins leurs armatures seront attirées au même moment. Les appareils marcheront donc ensemble jusqu'à une certaine limite qu'il est facile de prévoir. Cette limite sera atteinte, lorsque l'armature de l'appareil animé par le courant le plus intense, en arrivant au terme de sa course, rouvre le circuit trop tôt pour que l'armature de l'autre appareil puisse encore achever la sienne par l'effet tant des forces vives qu'elle a recueillies pendant la clôture du circuit, que par celui de l'aimantation temporaire des masses de fer doux. Quand cette limite sera dépassée, l'armature de celui des deux télégraphes pour lequel le courant est le plus faible, ne fera plus que de petites oscillations impuissantes, et son aiguille restera immobile. Mais on pourra facilement faire marcher ensemble les appareils même dans ces circonstances, en détendant le ressort de l'appareil qui refuse le service.

Par le même moyen, on pourrait d'ailleurs compenser, si cela était nécessaire, un commencement de désaccord pareil qui se rencontre par suite d'une qualité très-différente du fer doux ou d'une disposition différente des aimants des deux appareils. Il faudra détendre, en ce cas, le ressort de l'appareil dont le fer aura plus de force coërcitive, ou dont l'aimant présentera une masse continue, au lieu d'être composé de tubes concentriques et fendus dans leur longueur. J'ajouterai enfin que l'expérience a montré que la marche des télégraphes est la plus rapide, lorsque l'intensité du courant et la force du ressort sont réglées de manière que les temps d'attraction et de rappel de l'armature sont égaux.

En résumé, on voit que, dans les télégraphes à double interruption spontanée, la vitesse de marche des appareils s'adaptant toujours tout naturellement à l'intensité des courants, cette vitesse sert de régulateur, qui pare aux désordres qui pourraient résulter des variations de l'intensité. On est maintenant mis à même de comprendre une propriété bien curieuse qu'offrent ces télégraphes, propriété qui, au premier aspect, doit même paraître paradoxale.

Admettons, en effet, que deux de ces appareils aient besoin, pour attirer complètement leurs armatures, d'une intensité de courant $= a$. Il sera indifférent évidemment de quelle manière on procurera à chaque appareil cette intensité necessaire a. Ainsi donc on pourrait établir aux deux bouts de la ligne une pile locale, incapable, à elle seule, de

faire marcher l'appareil de la station, parce qu'elle ne fournirait qu'une intensité $b < a$. Alors, en lançant dans le circuit des deux appareils un courant de l'intensité $c =$ ou $> a - b$, on pourra faire marcher ensemble les appareils quelque petit que soit c rapport à a, pourvu toutefois que les choses soient disposées de manière que chacun des appareils, en marchant, rompe à la fois le circuit de la pile locale et celui du courant qui traverse le circuit en entier.

Or cette disposition est facile à réaliser. Qu'on imagine un circuit télégraphique avec deux de mes appareils aux deux stations, chaque appareil étant muni de sa pile, mais le courant résultant des deux piles étant incapable de faire marcher les appareils. Alors qu'on établisse à chaque station un circuit dérivateur, entre le fil qui va de la pile au sol et celui qui va du télégraphe à l'autre station; voici ce qui se passera. Dans chaque télégraphe et chaque pile, le courant de la même pile augmentera d'intensité, parce que l'établissement du circuit dérivateur diminuera la résistance du circuit offert à la pile. Au contraire, dans chaque télégraphe et chaque pile, le courant de l'autre pile diminuera d'intensité, parce que, dans plusieurs circuits offerts simultanément à la même pile, les intensités sont en raison inverse des résistances. Mais l'augmentation du courant de la pile correspondante dans chaque télégraphe pourra surpasser la diminution du courant de l'autre pile, et de cette manière, par le fait même de l'établissement des courants dérivateurs, l'intensité, dans chacun des télégraphes, pourra devenir assez grande pour qu'il entre en action. Cependant, pour que les aguilles restent d'accord, il faudra qu'une condition soit remplie. Cette condition, c'est que le courant de la pile de chaque station dans le télégraphe de la même station, quand il circule dans le circuit dérivateur, ne soit pas assez intense à lui seul pour faire marcher le télégraphe; car, si cela était le cas, l'un des télégraphes pourrait marcher sans l'autre, puisque la rupture du circuit à l'une des stations n'entraînerait plus la rupture du circuit à l'autre station. Au reste, cette condition pourra toujours être facilement remplie, en donnant une tension suffisante aux ressorts de rappel des deux appareils.

Admettons maintenant que le courant des deux piles dans le circuit télégraphique soit déjà, à lui seul, capable de faire fonctionner les appareils; alors l'établissement des circuits dérivateurs les fera évidemment marcher plus vite. Admettons encore que les circuits dérivateurs ou bien ne soient pas d'égale résistance, ou bien qu'ils ne soient pas disposés symmétriquement, ou que même il n'y en ait qu'un seul à l'une des extrémités de la ligne; en ce cas, l'intensité du courant dans les deux appareils ne sera plus la même; elle sera augmentée dans l'appareil, auquel correspondra le circuit dérivateur de moindre résistance ou le seul circuit pareil existant, et elle sera moins augmentée ou diminuée dans l'autre appareil. Néanmoins on comprend, d'après

tout ce qui précède, que les télégraphes marcheront ensemble, et cela avec une vitesse qui, en ce cas encore, pourra excéder de beaucoup celle qu'on aurait obtenue sans circuit dérivateur. L'accord des appareils aura, il est vrai, une limite, la même qui a été indiquée plus haut, au delà de laquelle l'un d'eux refusera le service; mais il sera facile de rétablir l'accord en réglant convenablement la tension des ressorts.

Appliquons ces principes à ce qui se passe en réalité sur les lignes télégraphiques. Tout ce qui vient d'être dit des circuits dérivateurs artificiels, s'applique également bien à ceux qui, sur les lignes télégraphiques, résultent de l'isolement défectueux du fil. On se rappelle que ce sont de pareils circuits qui, en offrant au courant de la pile un chemin plus court, occasionnent ce que l'on a pris l'habitude de nommer des *pertes*, parce que la seule chose qui, jusqu'à présent, avait frappé dans ce phénomène, c'est l'affaiblissement du courant à la station opposée. M. Wheatstone avait bien essayé de rémédier à ces pertes et aux variations de leur grandeur en établissant une pile à chaque station; mais avec ses télégraphes à cadran et ceux du même genre cette précaution ne réussit pas, parce que, le circuit n'étant interrompu qu'à l'une des stations, l'armature de l'appareil récepteur reste trop facilement collée par l'effet du courant de la pile correspondante qui subsiste encore dans le circuit dérivateur. Eh bien, chose singulière, ces mêmes pertes, si redoutables pour tous les autres appareils télégraphiques, non-seulement, comme on l'a vu, ne font pas de tort à la marche régulière de mes télégraphes à double interruption spontanée, mais même la favorisent et l'accélèrent, et cela dans des limites extrêmement étendues, parce que le courant établi dans le circuit dérivateur, pour porter le désordre dans la correspondance, n'a pas seulement à tenir collée une armature déjà attirée, mais qu'il faut qu'il devienne assez puissant pour l'attirer à distance, après qu'elle a été rappelée par le ressort, et avant que l'armature de l'autre appareil ait également été rappelée tout à fait.

Cette propriété remarquable de mes appareils de fonctionner rapidement et avec précision, même quand il y a des circuits dérivateurs qui mettraient fin au service de tous les autres télégraphes, acquiert une importance plus grande encore par la raison que voici. J'ai décrit, vers la fin du premier chapitre, les phénomènes qui resultent de ce que le fil de cuivre, avec son enduit isolant, figure une jarre de Leyde d'une capacité gigantesque qui reçoit sa charge de la pile, avec laquelle l'une de ses extrémités est en contact. Ces phénomènes donnent lieu à certaines perturbations dans la marche des appareils télégraphiques en général. Dans ceux de ma construction, ils deviennent facilement cause que l'un des appareils reste stationnaire et que l'autre marche avec une grande rapidité. Il y a un moyen très-simple de rémédier à ces perturbations; ce moyen consiste précisément à établir un circuit

dérivateur artificiel du fil qui va à l'autre station, au fil qui va de la pile au sol; en sorte que, comme il n'y a que mes appareils dont la marche ne soit pas gênée par la présence de circuits dérivateurs, il n'y a aussi qu'eux, à l'aide desquels on puisse recueillir tous les avantages des conduits souterrains bien isolés.

Avantages résidant dans le mode d'action des nouveaux télégraphes. — Dans mon système, il suffit d'un seul fil, et, à chaque station, d'un seul appareil et d'un seul employé pour donner et pour recevoir les signaux. On peut faire entrer dans le même circuit autant d'appareils que l'on veut, tous marcheront ensemble du même pas. De chaque station tous les appareils installés dans le même circuit peuvent être arrêtés à la fois au même instant. Ainsi, à chaque instant de la transmission de la dépêche, quand il n'y a pas d'appareil à impression, chaque employé qui la reçoit, peut couper la parole à celui qui la donne, et gagner ainsi le temps nécessaire pour noter le mot qu'il a recueilli, sans risquer que, pendant cette occupation, de nouveaux signaux échappent à son attention. Rien de plus facile d'ailleurs que de parler d'une des stations extrêmes à une station intermédiaire quelconque, sans que les autres participent à la dépêche. A un signal convenu, les employés des stations intermédiaires retirent leurs télégraphes du circuit et les remplacent par une sonnerie qui reste au repos, sous l'action du courant intremittant, mais donne l'éveil quand un courant continu la traverse, en vertu du même principe qui fait que l'aimant à impression, dans l'appareil décrit plus haut, ne se mêt à fonctionner que quand le circuit est tenu fermé pendant un certain temps. La dépêche finie, les deux employés des stations en correspondance retirent à leur tour du circuit leurs télégraphes qui rendaient intermittant le courant des piles, de manière qu'il devienne continu, les carillons des stations intermédiaires entrent en jeu et avertissent les employés qu'il est temps de réinstaller leurs télégraphes dans le circuit. Toutes ce diverses combinaisons s'exécutent instantanément à l'aide d'une manivelle qui a trois positions: dans l'une, il y a communication avec les deux stations avoisinantes; dans l'autre, la dépêche passe inaperçue d'une station à une autre, à l'exclusion du télégraphe, comme cela vient d'être indiqué; dans la troisième, enfin, tous les télégraphes participent à la fois à la même dépêche. Enfin, à chacun de mes télégraphes, comme on l'a vu plus haut, peut être adapté un appareil à impression, en sorte que la dépêche est imprimée à la fois aux deux stations. L'exactitude de la dépêche se trouve ainsi complètement garantie, sans qu'on ait besoin de se la faire rendre, et un désordre qui se glisserait dans les appareils pendant la transmission, ne pourrait même jamais affecter qu'un seul mot de la dépêche, parce qu'il serait aussitôt trahi par le son du timbre qui, lorsque tout est en règle, doit retentir entre chaque mot et le suivant d'accord avec les

blancs du cadran. L'appareil à impression ne communiquant au télégraphe que par voie électrique, le mécanisme de celui-ci n'en devient pas plus compliqué, et les désordres auxquels l'appareil à impression pourrait être sujet, à raison de sa plus grande complication, ne réagissent point sur le télégraphe. La marche du télégraphe est tout aussi rapide avec l'appareil à impression que sans celui-ci, et l'impression même n'implique dans la transmission de la dépêche aucune perte de temps, parce qu'elle se fait à l'instant où le télégraphe est censé s'arrêter un moment par l'effet de l'abaissement d'une touche. Enfin, comme c'est le rouleau et non la roue-type elle-même qui porte le noir, l'impression reste toujours également noire et nette d'un bout de la dépêche à l'autre, quelle que soit son étendue.

Ce télégraphe, avec l'appareil à impression comme sans celui-ci, n'exige, pour être manié, aucune dextérité particulière, parce qu'il suffit, à cet effet, de s'orienter simplement sur un clavier, et cela, bien entendu, sans que de l'emploi de ce clavier il résulte la moindre complication de l'appareil. Quant à la rapidité de la correspondance, un employé tant soit peu exercé donne, par minute, de cinquante à soixante signaux complets, soit lettres imprimées en caractères ordinaires, y compris les blancs. Ce chiffre peut ne pas paraître considérable auprès de ce que fournissent certains autres appareils, par exemple le télégraphe électrochimique de M. Bain; mais il faut bien faire attention à ce que mon télégraphe, d'une part, n'exige pour fonctionner aucun préparatif, qu'il est à chaque instant prêt à entrer en action, et que, de l'autre, la dépêche est rendue en caractères ordinaires, en sorte qu'il n'y a aucun temps perdu à la déchiffrer.

Conclusion.

Les appareils télégraphiques dont je vient de faire connaître la construction et d'exposer les avantages, ne sont plus seulement à l'état de projet. Bien au contraire, ces appareils sont depuis trois ans adoptés par le gouvernement prussien; plusieurs directions de chemins de fer ont suivi son exemple, et, aujourd'hui, plus de cent cinquante de ces appareils fonctionnent dans le nord de l'Allemagne, chiffre qui va être doublé dans le cours de cette année. Depuis qu'ils sont en service, ils ont travaillé avec une régularité irréprochable, en sorte qu'il se passe des mois sans que les aiguilles se détachent l'une de l'autre.

Il va sans dire, au reste, que ces appareils, malgré la simplicité de leur principe, exigent, en leur qualité de machines à mouvement propre , un constructeur habile, intelligent et soigneux. Qu'il me soit permis, à cette occasion, de faire mes remercîments publics à mon collaborateur M. J. Halske, de Berlin, à l'admirable talent duquel je dois attribuer la plus grande partie des succès dont mes efforts, dant cette belle branche de la physique appliquée, ont peut-être été couronnés.

Ueber

die Beförderung gleichzeitiger Depeschen durch einen telegraphischen Leiter.

(Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 98 S. 115. 183.)

1856.

Bereits im Jahre 1849 beschäftigte ich mich in Gemeinschaft mit Halske mit der Lösung der Aufgabe, durch telegraphische Leiter eine die Zahl der Drähte übersteigende Zahl gleichzeitiger Depeschen zu befördern. Wir gingen dabei von folgenden Betrachtungen aus:

Wenn man das Ende jeden Leitungsdrahtes mit den Enden aller übrigen Drähte durch ein telegraphisches Instrument mit zugehöriger Batterie verbindet, so kann man $\frac{n(n-1)}{2}$ solcher Telegraphenapparate auf jeder Seite der die Stationen A und B verbindenden n Leitungsdrähte aufstellen. Schaltet man nun mit einem der eingeschalteten Apparate die zugehörige Batterie zwischen die betreffenden Drähte ein, so werden alle vorhandenen Leitungsdrähte und Apparate von einem mehr oder weniger starken Strome durchlaufen. Die Aufgabe bestand nun darin, den den homologen Apparat der anderen Station durchlaufenden Strom möglichst stark und wirksam, die die übrigen Apparate durchlaufenden Ströme dagegen entweder sehr schwach zu machen oder ihre Wirkung ganz oder doch grösstentheils zu compensiren. Es konnte dies durch passende Wahl von Widerständen, welche mit den Batterien und Apparaten ein- und ausgeschaltet wurden, durch locale Nebenschliessungen der thätigen Batterien und durch zweckmässige Construction der Apparate selbst ausgeführt werden.

Da die für eine geringe Anzahl von Drähten ausgeführten Berechnungen sowie die angestellten Versuche ein günstiges Resultat versprachen, so nahmen wir in ein am 23. October 1849 in England entnommenes Patent den Anspruch auf gleichzeitige Beförderung einer grösseren Zahl von Depeschen durch combinirte Drähte, auf. Weitere

Beschäftigung mit diesem Gegenstande zeigte uns jedoch bald, dass die Lösung bei einer grösseren Zahl von Drähten zu schwierig und complicirt wurde und dass sich das hauptsächlichste Erforderniss telegraphischer Einrichtungen — grösstmöglichste Sicherheit — nicht befriedigend erreichen liess.

Einige Jahre später versuchte Hr. Dr. Kruse in Artlenburg die Aufgabe der mehrfachen gleichzeitigen Benutzung telegraphischer Leiter auf eine ganz verschiedene Weise zu lösen. Derselbe benutzte zu seinen Versuchen eine Modification unserer, auf das Princip des Neeff-schen Hammers basirten Zeigertelegraphen[1]), welche darin besteht, dass sie mit einem Uebertrager (*relais*) in Verbindung gebracht sind. Es geschieht dies auf die Weise, dass die Windungen des Uebertragers vom Linienstrome, die des Telegraphenmagnetes von einem Localstrome durchlaufen werden, während der Contact des Uebertragers den Localstrom, der des Telegraphen den Linienstrom abwechselnd herstellt und unterbricht. Mit dieser Einrichtung versehen, sind die Zeigertelegraphen befähigt, mittelst sehr kurzer und schwacher Strömungen, welche die Leitung und die Windungen der Uebertrager durchlaufen, sicher und schnell zu gehen.

Man denke sich nun eine beliebige Zahl derartig combinirter Zeiger oder Drucktelegraphen an jedem Ende der Leitung aufgestellt. Das eine Ende aller Uebertragerwindungen communicirt durch die Schiebercontacte der zugehörigen Telegraphen hindurch mit dem einen Pol einer gemeinsamen Batterie, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet ist. Das zweite, freie Ende jeder Uebertragerspirale führt dagegen zu einer isolirten Contactfeder. Diese Federn sind in gleichen Abständen um eine Contactscheibe gruppirt. Der Rand dieser Scheibe, auf welchem die Federn schleifen, ist in abwechselnd isolirende und leitende Felder derartig eingetheilt, dass stets nur eine Feder mit einem leitenden, alle übrigen dagegen mit isolirenden Feldern in Berührung sind. Wird die Scheibe gedreht, so treten die Federn der Reihe nach einen Augenblick in leitende Verbindung mit der Scheibe und durch sie mit dem Leitungsdraht. Denkt man sich nun an beiden Enden der Leitung dieselbe Einrichtung getroffen, beide Batterien in gleicher Richtung eingeschaltet und beide Scheiben genau gleichmässig gedreht, so werden sämmtliche Telegraphen gleichmässig rotiren. Wird einer derselben angehalten und dadurch die leitende Verbindung seiner Contactfeder mit der Batterie dauernd unterbrochen, so muss auch der mit ihm correspondirende, d. i. der mit einer homologen Feder verbundene Apparat der andern Station, still stehen, da kein Strom die Leitung durchlaufen kann, während diese Feder mit ihr in Verbindung ist. Die gleichmässige Rotation der beiden Scheiben bewirkt Hr. Kruse

[1]) *Arch. d. sc. ph. et nat. XIV.* 41.

dadurch, dass er sie mit Zähnen versieht und durch die Oscillationen der Telegraphenmagnete selbst drehen lässt. Da stets gleich viel Apparate an beiden Enden der Leitung in Bewegung sind und alle genau mit derselben Geschwindigkeit rotiren, so müssen auch beide Scheiben genau gleichmässig fortschreiten. Werden einzelne Telegraphenpaare angehalten, so wird dadurch zwar die Rotationsgeschwindigkeit der Scheiben und mithin auch der übrigen Telegraphen vermindert, die Gleichmässigkeit der Rotation aber nicht gestört.

Es ist ersichtlich, dass diese sinnreiche Combination für praktische Anwendung zu complicirt und zu unsicher ist. Namentlich wird es sehr schwer sein, die Uebertrager so empfindlich und schnell beweglich zu machen, dass sie mit Strömen von so kurzer Dauer noch sicher functioniren und die Telegraphen in Bewegung setzen.

Im zweiten Decemberheft des Leipziger polytechnischen Centralblattes beschrieb Hr. Telegraphen-Inspector Galle eine von Hrn. Dr. Gintl auf der Linie Prag-Wien versuchte Methode mittels des Morse'schen Schreibtelegraphen gleichzeitig Depeschen in entgegengesetzter Richtung zu befördern. Sie bestand darin, dass die Uebertragermagnete mit 2 Drahtspiralen versehen wurden, von denen die eine mit dem Leitungsdrahte communicirte. War der Schlüssel (Contacthebel) nicht niedergedrückt, so stellte sein Ruhecontact die leitende Verbindung des freien Endes dieser Spirale mit der Erde her; der leitende Kreis war mithin durch den Draht, die betreffenden Spiralen der beiden Endstationen und die Erde hergestellt. Durch Niederdrücken eines der Schlüssel war die directe leitende Verbindung der Spirale mit der Erde aufgehoben und sie dagegen mit dem freien Pole einer zur Erde abgeleiteten Batterie hergestellt. Der Strom dieser Batterie durchlief mithin jetzt den Leitungsdraht und die seine Fortsetzung bildenden Spiralen. Um nun zu verhindern, dass dieser Strom den am Orte der wirksamen Batterie befindlichen Magnet des Uebertragers magnetisirte, ward durch dieselbe Hebelbewegung gleichzeitig ein zweiter Contact hergestellt, welcher den Stromlauf einer zweiten Batterie durch die zweite Spirale des Magnetes herstellte. Der Strom durchlief diese Spirale in entgegengesetzter Richtung und ward durch einen eingeschalteten Rheostaten so abgeglichen, dass seine magnetisirende Wirkung derjenigen des die andere Spirale durchlaufenden Linienstromes gleich und entgegengesetzt war. Der Uebertragermagnet der eigenen Station blieb daher ganz unmagnetisch, während der Strom auf den Magnet der Empfangsstation seine volle Wirkung ausübte. War nun an beiden Enden der Leitung dieselbe Einrichtung getroffen und wurden gleichzeitig beide Contacthebel niedergedrückt, mithin alle 4 Batterien eingeschaltet, so ward das Gleichgewicht der Ströme in beiden Uebertragermagneten gestört, und die Anker beider mussten angezogen werden. Es musste daher jeder Apparat die von der anderen Station gegebenen Zeichen erhalten.

während gleichzeitig andere Zeichen von ihm ausgingen und dort zum Vorschein kamen,

Hr. Dr. Gintl scheint die an den beiden Enden des Leitungsdrahtes befindlichen Batterien stets in entgegengesetztem Sinne eingeschaltet und dies für unumgänglich nothwendig erachtet zu haben, da er später mehrfach die sonderbare Ansicht ausgesprochen hat, dass die Möglichkeit des Gegensprechens den Beweis liefere, dass zwei Ströme einen Draht in entgegengesetztem Sinne durchlaufen könnten, ohne sich gegenseitig zu schwächen oder aufzuheben! In dem vorliegenden Falle ist es für die Grösse der Störung des Gleichgewichts der magnetisirenden Wirkungen der die beiden Spiralen jedes Uebertragermagnetes durchlaufenden Ströme ganz gleichgültig, in welchem Sinne die Batterien beider Stationen eingeschaltet werden. Werden sie in gleichem Sinne, d. i. so eingeschaltet, dass sie als eine Batterie von doppelter Zahl von Elementen wirken, so ist die Stromstärke im Leitungsdraht und den mit ihnen verbundenen Spiralen doppelt so gross wie die, welche eine einzelne Batterie in demselben Kreise hervorbringt. Sind die Batterien dagegen gleich und entgegengerichtet, so neutralisiren sie sich in einem völlig isolirten Leitungskreise vollständig, und es wird weder der Leitungsdraht noch die zugehörigen Spiralen von einem Strome durchlaufen. In beiden Fällen werden die Magnete durch die Differenz der Wirkung des Linien- und des Gleichgewichtsstromes — mithin ebenso stark wie bei einseitigem Strome — magnetisirt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass im ersteren Falle der Linien-, im zweiten der Local-Gleichgewichtsstrom überwiegend ist und die Magnetisirung bewirkt.

Die praktischen Resultate, welche Hr. Dr. Gintl bei den Versuchen mit den wie eben beschrieben hergerichteten Apparaten erzielte, konnten nur sehr ungünstig ausfallen. Zwei Batterien bleiben nicht lange im Gleichgewicht ohne häufige Correcturen des Widerstandes. Noch weit schwieriger, ja sogar unmöglich, ist es, zwei Contacte wirklich gleichzeitig herzustellen und aufzuheben, wie es das Gintl'sche[1]) Gegensprechverfahren erfordert. Ferner wird die leitende Verbindung des Leitungsdrahtes mit der Erde während jedes Uebergangs aus einer Ruhelage in die andere unterbrochen, der von der anderen Station kommende Strom mithin während dieser Zeit aufgehoben, wodurch nothwendig Störungen der ankommenden Schrift hervorgerufen werden. Endlich hat Herr Dr. Gintl dadurch, dass er die Batterien

[1] Hr. Dr. Gintl hat selbst das oben beschriebene Verfahren des gleichzeitigen Sprechens durch denselben Draht mit Morse'schen Telegraphen nirgends mit Bestimmtheit als seine Erfindung in Anspruch genommen. Da häufig der verstorbene Professor Petrina in Prag als derjenige bezeichnet wird, welcher der österreichischen Regierung die leitende Idee zu dem beschriebenen Versuche mitgetheilt habe, so wäre eine bestimmte Erklärung hierüber sehr wünschenswerth.

in entgegengesetzter Richtung einschaltete, noch den Uebelstand herbeigeführt, dass die Uebertragermagnete bei gleichzeitiger Schrift im Sinne der Gleichgewichtsströme, bei einseitiger dagegen im Sinne des Linienstromes magnetisirt wurden; bei jedem der zahlreichen Wechsel zwischen Einzel- und Doppelschrift musste daher der Magnetismus der Elektromagnete umgekehrt werden, was zur nothwendigen Folge haben musste, dass häufig kurze Schriftzeichen fortblieben und längere unterbrochen wurden.

Die ungünstigen Resultate, welche Hr. Gintl mit dem Gegensprechen auf elektromagnetischem Wege erhielt, veranlassten denselben, diesen Weg ganz zu verlassen, und die Lösung der Aufgabe mittels des Bain'schen elektrochemischen Telegraphen zu versuchen. In einer am 30. November 1854 der K. K. Akademie der Wissenschaften zu Wien mitgetheilten [1]) Abhandlung sucht Herr Dr. Gintl den Beweis zu führen, dass zwei Ströme, ohne sich gegenseitig zu stören, in entgegengesetzter Richtung denselben Draht durchlaufen, dass mithin „jeder der beiden sich gleichzeitig durch den Draht fortpflanzenden Ströme an der entgegengesetzten Station gerade so anlangte, als wenn er für sich allein in dem Drahte dahingeleitet worden wäre", und begründete auf diesen, vermeintlich geführten Beweis die Construction seines elektrochemischen Gegensprechers. Obgleich sich dieser Beweis, wie leicht vorherzusehen, als gänzlich irrthümlich ergiebt und nur zeigt, dass Hr. Dr. Gintl das Ohm'sche Gesetz und die Lehre der Stromverzweigungen ausser Acht gelassen hat, so ist der von demselben zuerst betretene Weg des Gegensprechens auf elektrochemischem Wege doch sehr beachtenswerth. Es wird daher am zweckmässigsten sein, durch eine einfache Rechnung gleich die Bedingungen des elektrochemischen Gegensprechens festzustellen und auf die Gintl'sche Beweisführung gar nicht weiter einzugehen.

Es stelle in Fig. 3 ab die Drahtleitung, cd die als widerstandslos betrachtete Verbindung durch die Erde vor, durch welche die beiden Stationen A und B mit einander communiciren. Die leitende Verbindung zwischen a und c, so wie zwischen b und d ist durch die zur Aufnahme der telegraphischen Zeichen bestimmten, mit einer der bekannten Salzlösungen getränkten Papierstreifen hergestellt und dadurch der galvanische Kreislauf geschlossen. Schaltet nun eine der beiden Stationen, z. B. A, eine Batterie E in den Kreis ein, so wird der Strom beide Papierstreifen durchlaufen und an beiden Stationen eine Zersetzung des Elektrolyten, mit welchem sie getränkt sind, bewirken. Die Aufgabe des Gegensprechens verlangt dagegen, dass nur in Station B eine Zersetzung hervorgebracht, der Papierstreifen in Station A

[1]) Sitzungsberichte der math.-naturw. Classe der Kais. Akad. d. Wissenschaften Bd. XIV, S. 400.

mithin von keinem Strome durchlaufen wird. Dies kann dadurch bewirkt werden, dass man gleichzeitig mit der Batterie E eine zweite Batterie E' nebst einem noch zu ermittelnden Widerstande w', zwischen die beiden als Anoden dienenden Metallstifte, zwischen denen der

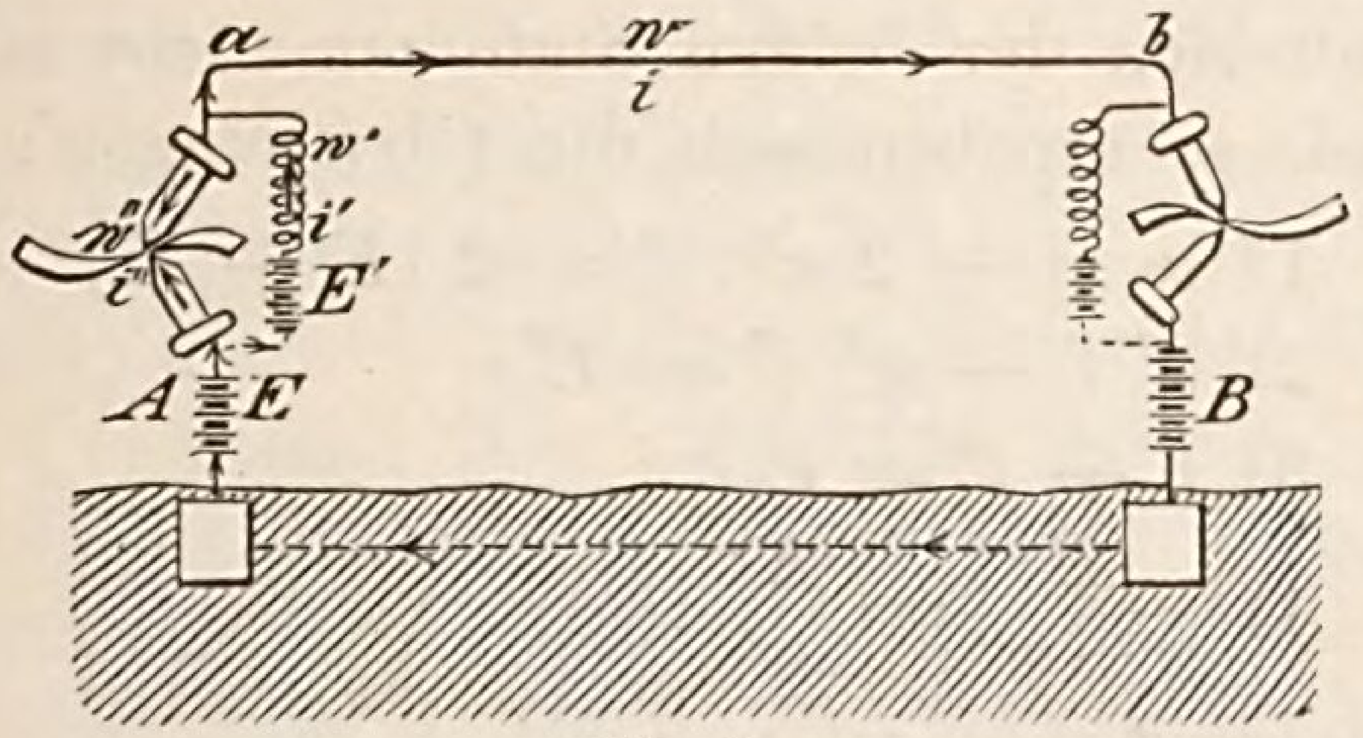


Fig. 3.

Papierstreifen hindurchgeführt wird, in der Weise einschaltet, dass der Papierstreifen den von keinem Strome durchlaufenen Zweigdraht des Wheatstone'schen Stromnetzes bildet. Bezeichnen E und E' die elektromotorischen Kräfte der eingeschalteten Batterien, w den Widerstand des Leitungsdrahtes zwischen A und B, w' den der Zweigleitung mit der Batterie E', w'' den Widerstand des Papierstreifens, i, i', i'' endlich die in den Widerständen w, w' und w'' herrschenden Stromstärken, so ist nach der Kirchhoff'schen Form des Ohm'schen Gesetzes, wenn durch die eingezeichneten Pfeile die Richtung der Ströme bestimmt ist:

$$1)\ w'\,i' + w\,i + w''\,i = E + E'$$
$$2)\ w'\,i' - w''\,i'' = E'$$
$$3)\ i' + i'' = i.$$

Hieraus folgt für den gesuchten Fall, dass $i'' = 0$ werden soll,

$$E : E' = w + w'' : w'.$$

Es durchläuft mithin den Papierstreifen gar kein Strom, wenn die Widerstände der Haupt- und Zweigleitung sich wie elektromotorische Kräfte der zugehörigen Batterien verhalten. Schaltet nun Station B gleichzeitig mit Station A ihre beiden Batterien E und E' mit dem ebenso abgeglichenen Widerstande w' auf gleiche Weise ein, so sind die beiden Fälle zu betrachten, ob die Batterien der beiden Stationen einander verstärken oder entgegengerichtet sind. Im letzteren Falle wird die Leitung $a\,b$ von keinem Strome durchlaufen, da die in A und B befindlichen elektromotorischen Kräfte gleich und entgegengesetzt sind. Durch die Papierstreifen in A und B sind aber Nebenschliessungen der Gleichgewichtsbatterien E' hergestellt. Die ersteren werden mithin von einem Strome

$$i'' = \frac{E'}{w' + w''}$$

durchlaufen. Es tritt daher gleichzeitig an beiden Stationen eine Zersetzung der Flüssigkeit, mit welcher die Papierstreifen getränkt sind, ein, die jedoch nicht Folge von Strömen, welche im Leitungsdraht aneinander vorbeigehen, ist, sondern durch Localströme der Gleichgewichtsbatterien veranlasst wird [1]).

Wenn die Batterien der beiden Stationen nicht entgegen, sondern gleichgerichtet sind, so ergeben sich die Gleichungen:

$$1)\ w \,.\, i + 2\, w' \,.\, i' = 2\,(E + E')$$
$$2)\ w'\, i' - w''\, i'' = E'$$
$$3)\ i' + i'' = i$$
$$4)\ \frac{E}{w + w''} = \frac{E'}{w'}\,;$$

woraus folgt, wenn i, i' und E eliminirt werden:

$$i'' + E' \frac{w + 2\, w''}{w\, w' + 2\, w'\, w'' + w\, w''}\,.$$

Es findet mithin auch in diesem Falle eine gleichzeitige Zersetzung in beiden Papierstreifen statt, welche durch den im Leitungsdraht herrschenden überwiegenden Strom bewirkt wird.

Um eine tadellose telegraphische Schrift zu erhalten, müsste beim Einzel- wie beim Doppelsprechen die Stärke des die Papierstreifen durchlaufenden Stromes gleich gross sein. Es müsste mithin in dem zuerst betrachteten Falle

$$\frac{E + E'}{w + w' + w''} = \frac{E'}{w' + w''}$$

sein.

Diese Gleichung wird aber nur dadurch erfüllt, dass $w'' = 0$ gesetzt wird. Es lässt sich mithin nur dann eine gleichmässige und sichere Schrift erzielen, wenn der Widerstand, den der eingeschaltete

[1]) Herr Zantedeschi hat in zwei, am 16. Juli und 6. August vorigen Jahres der Pariser Academie der Wissenschaften überreichten Abhandlungen den Ruhm in Anspruch genommen, bereits im Jahre 1829 den gleichzeitigen Durchgang elektrischer Ströme von entgegengesetzter Richtung durch denselben Leiter nachgewiesen zu haben. Seine Beweisführung ist der Gintl'schen sehr ähnlich und wie diese im Widerspruch mit dem Ohm'schen Gesetze. Wenn es auch nicht angemessen erscheint, in diesen Blättern auf eine specielle Widerlegung derartiger unbegründeter Hypothesen, welche durch keine neue, bis dahin nicht zu erklärende Erscheinungen hervorgerufen sind, einzugehen, so bleibt doch zu bedauern, dass die Aufstellung derselben nicht sogleich gerügt ist, da dadurch in manchen Kreisen eine grosse Verwirrung der Ansichten entstanden ist. Dass zwei gleiche in entgegengesetzter Richtung in einen leitenden Kreis eingeschaltete Batterien wirklich unthätig sind, erweist sich dadurch, dass keine Wärme im Verbindungsbogen erzeugt wird, da die Wärmeentwicklung nothwendig Begleiterin jedes Stromes ist, welcher einen Widerstand überwindet, so wie auch dadurch, dass in den Batterien keine chemische Action stattfindet, ohne welche eben so wenig ein hydro-elektrischer Strom denkbar ist.

Papierstreifen dem Durchgange des Stromes entgegensetzt, im Vergleich mit den übrigen Widerständen sehr klein ist.

Dasselbe Resultat erhält man in dem Falle, wenn die Batterien in gleichem Sinne eingeschaltet sind, aus der Gleichung:

$$E' \frac{w + 2\,w''}{w\,w' + 2\,w'\,w'' + w\,w''} = \frac{E + E'}{w + w' + w''}.$$

Ersetzt man die Zersetzungsvorrichtungen durch die Windungen zweier Uebertragermagnete, so eignet sich das Gintl'sche Stromschema auch zum Gegensprechen mit elektromagnetischen Telegraphen, doch ist hierbei der Uebelstand der ungleichen Ströme beim Einzel- und Doppelsprechen noch nachtheiliger wie bei elektrochemischen Apparaten.

Der praktischen Brauchbarkeit der beschriebenen Gintl'schen Gegensprechmethode steht besonders die Schwierigkeit entgegen, welche mit der Construction von Doppelcontacten, welche gleichzeitig und ohne Unterbrechung der Leitung wirken sollen, verknüpft ist. Ueberhaupt eignet sich der elektrochemische Telegraph nur zur Benutzung auf einzelnen, unverzweigten Linien, da er die Weitertragung (*Translation*), d. i. die mechanische Weitergabe einer Depesche durch die empfangenden Apparate nicht gestattet.

Im Sommer 1854 beschäftigten Halske und ich und unabhängig von uns Hr. Telegraphen-Ingenieur Frischen in Hannover sich mit der Aufgabe, dem Gegensprechen mit Morse'schen Telegraphen eine praktisch brauchbare Form zu geben. Es gelang uns dies auf völlig befriedigende Weise und zwar auf im Wesentlichen gleichem Wege.

In dem Stromschema Fig. 4 sei *a b* der die Stationen *A* und *B* verbindende Leitungsdraht, *m* und *n* seien die beiden Spiralen des mit

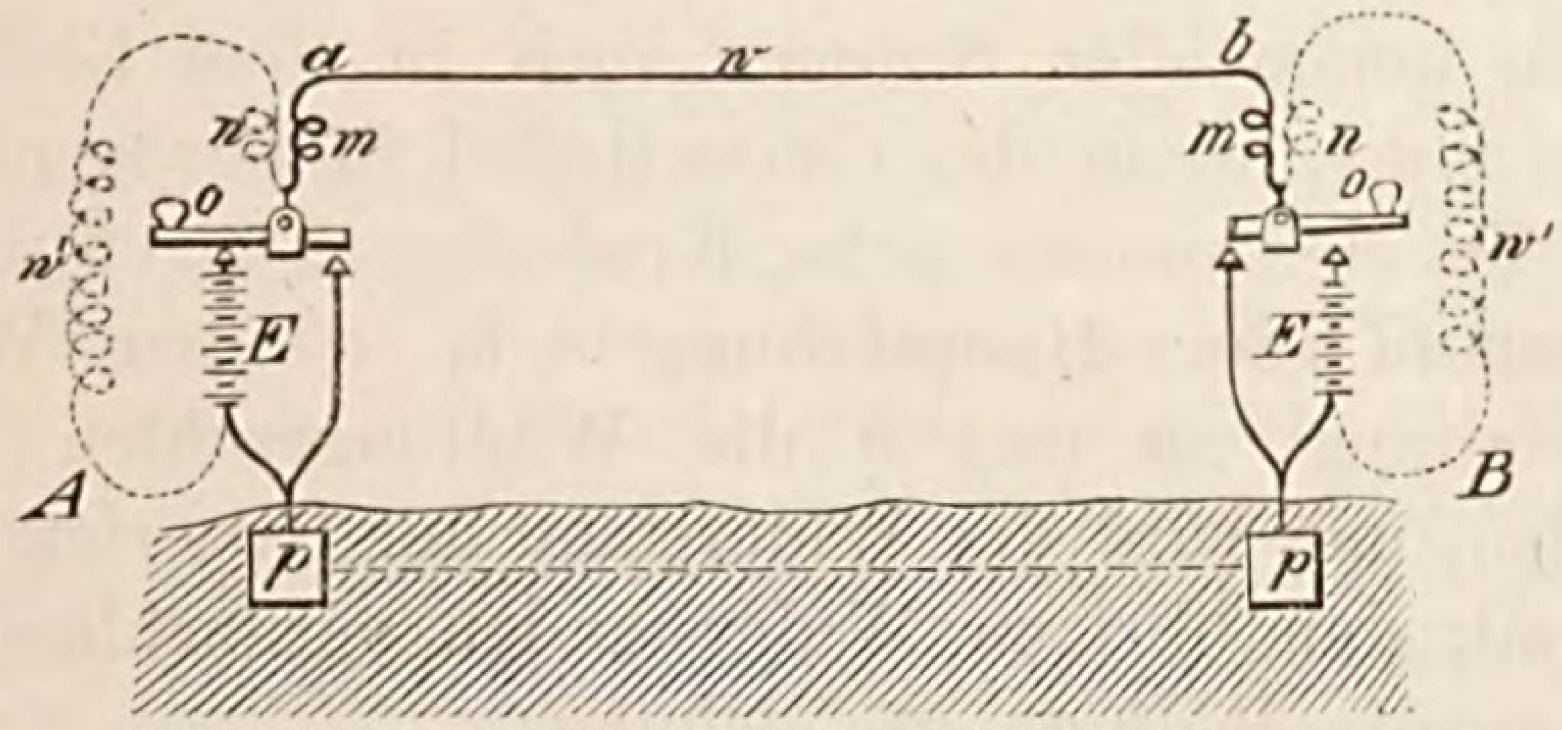


Fig. 4.

zwei Drähten umwundenen Uebertragermagnetes, *o* der Schlüssel (Contacthebel) des Apparates, *E* die Batterie, *w'* ein veränderlicher Widerstand, *p* die Metallplatte, welche die leitende Verbindung mit dem Erdboden herstellt. Die verbindenden Linien sind leitende Drähte. Im Ruhestande, d. i. wenn keiner der beiden Hebel *o* niedergedrückt ist, ist der Leitungsdraht *a b* durch einen der beiden Umwindungsdrähte *m* und die Ruhecontacte der Hebel *o* an beiden Stationen in leitender Verbindung mit der Erde. Wird der Hebel *o* der Stationen A

niedergedrückt, so wird hierdurch die leitende Verbindung des Umwindungsdrahtes *m* mit der Erde aufgehoben und derselbe dagegen mit dem freien Pole einer zur Erde abgeleiteten Batterie *E* verbunden. Der Strom dieser Batterie theilt sich nun in zwei Zweige. Der eine Theilstrom durchläuft die Spirale *m* der Station *A*, den Leitungsdraht *a b*, die Spirale *m* der Station *B* und geht durch den Ruhecontact des dortigen Hebels *o* zur Erde. Der andere Zweig durchläuft den Spiraldraht *n* der Station *A* und kehrt durch den Widerstand w_1 zur Batterie zurück. Die Spiralen *m* und *n* und der Widerstand w_1 müssen nun so angeordnet sein, dass die beiden durch *m* und *n* gehenden Ströme einen gleichen und entgegengesetzten magnetisirenden Effect auf das eingeschlossene Eisen des Uebertragermagnetes ausüben, mithin gar kein Magnetismus in demselben erzeugt wird. Es wird dann der von einer Station ausgehende Strom nur den Uebertragermagnet der anderen Station magnetisiren. Dieser Bedingung wird bei dem dargestellten Stromschema dadurch genügt, dass man die Producte der Stromstärken der beiden Zweigströme in die Zahl der Windungen der Spiralen *m* und *n* einander gleich macht. Da sich die Stromstärken in den beiden Zweigleitungen umgekehrt wie die Widerstände derselben verhalten, so müssen mithin die Windungszahlen der beiden Spiralen sich wie die Gesammtwiderstände der zugehörigen Kreise verhalten. Ist dies Verhältniss durch richtige Einstellung des Widerstandes *w* hergestellt, so wird kein Magnetismus in dem Magnete des eigenen Uebertragers erzeugt, derselbe behält mithin seine vollständige Empfänglichkeit für den von der anderen Station kommenden Strom.

Als weitere Bedingung für das durchaus gesicherte gleichzeitige Sprechen tritt noch hinzu, dass der magnetisirende Effect des von der anderen Station kommenden Stromes auch in dem Falle von gleicher Grösse bleiben muss, wenn der Contacthebel in Bewegung begriffen ist. Bezeichnet *E* die elektromotorische Kraft der thätigen Batterie, *w* den Gesammtwiderstand der Hauptleitung *a b*, *w'* den Widerstand der Gleichgewichtsleitung, *m* und *n* die Windungszahlen der gleich benannten Spiralen, und wird der Widerstand der Batterien als unerheblich im Vergleich mit den übrigen Widerständen vernachlässigt, so ergiebt sich aus Obigem die Bedingungsgleichung:

$$\frac{m\,E}{w} = \frac{(m+n)\,E}{w+w'},$$

welcher Gleichung ebenfalls genügt wird, wenn man $\frac{m}{n} = \frac{w}{w'}$ macht, wie für das Gleichgewicht der von der eigenen Batterie ausgehenden Ströme nothwendig ist. Bei praktischen Ausführungen haben wir in der Regel vorgezogen, die Zahl der Windungen beider Spiralen und mithin auch die Widerstände des Haupt- und des Gleichgewichtskreises einander gleich zu machen, obschon hierdurch der Verbrauch

übersponnener Kupferdrähte für die Uebertrager und übersponnener Neusilberdrähte zur Herstellung der Gleichgewichtswiderstände vergrössert wird. Wir thaten dies, weil grössere Widerstände leichter mit für praktische Zwecke ausreichender Genauigkeit auszugleichen sind und die veränderlichen Widerstände der Berührungsstellen dabei weniger in Betracht kommen, hauptsächlich aber um den durch die Leitung gehenden Strom der Batterie nicht durch eine zu kurze Zweigleitung unnöthig zu schwächen und unconstant zu machen. Da nämlich sehr oft in den Telegraphen-Bureaux inconstante Batterien, aus Kohlen-Zinkketten mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt bestehend, benutzt werden, so wird die elektromotorische Kraft derselben sehr schnell durch Polarisation vermindert, wenn ihre Thätigkeit beträchtlich in Anspruch genommen wird. Der ankommende Strom wird bei kurzen Gleichgewichtsleitungen daher namentlich dann sehr veränderlich werden, wenn die Leitung unvollkommen isolirt ist und dadurch der abgehende Strom bedeutend verstärkt wird. Auch bei Anwendung constanter Ketten haben kurze Zweigleitungen der Batterie den Nachtheil, dass man viel grössere Elemente namentlich dann anwenden muss, wenn mehrere Apparate durch eine Batterie betrieben werden sollen[1]).

Die Aufgabe des gleichzeitigen Sprechens in entgegengesetzter Richtung durch denselben Draht kann als vollständig gelöst durch die

[1]) Hr. Dr. Stark in Wien hat im 8. Heft der Zeitschrift des deutsch-österr. Telegraphen-Vereins 1855 eine Verbesserung unserer Methode des Gegensprechens beschrieben, welche darin besteht, dass er, abweichend von den von uns nach Wien gelieferten Apparaten, das Verhältniss der Zahl der Windungen beider Zweigleitungen ungleich macht. Die Gründe, welche uns bewogen haben, den Widerstand und die Zahl der Windungen beider Zweigleitungen gewöhnlich gleich gross zu machen, habe ich bereits angeführt. Hr. Dr. Stark berechnet, dass sein mit ungleicher Windungszahl versehener Magnet in Folge dessen eine grössere Empfindlichkeit im Verhältniss wie 1 : 1,67 erhalten habe. Er hat jedoch hierbei weder in Betracht gezogen, dass der Widerstand des vom Leitungsstrome durchlaufenen Umwindungsdrahtes und mithin auch der der ganzen Leitung bei seiner Annahme vergrössert wird, noch dass man für einen grösseren Widerstand ein passenderes Verhältniss des Durchmessers des Umwindungsdrahtes wählen und dadurch den von ihm berechneten Vortheil der ungleichen Umwindungszahl nahe compensiren kann. Eine Vergrösserung des Widerstandes der in die Leitung eingeschalteten Magnetspiralen ist aber nicht rathsam, weil die durch unvollkommene Isolation verursachten Nebenschliessungen des Leitungsdrahtes um so schädlicher wirken, je grössere Widerstände zwischen ihnen und der Batterie liegen. Wir haben unsere ersten Versuche im Sinne der Verbesserung des Hrn. Dr. Stark angestellt und auch später häufig Gegensprecher mit kleinerem Gleichgewichtswiderstande ausgeführt, fanden jedoch praktisch, dass das Gleichgewicht der Ströme am leichtesten herzustellen und zu erhalten ist, wenn beide Drähte gleichzeitig und in gleicher Windungszahl aufgewunden werden. Man erhält hierdurch namentlich den Vortheil, dass man in die beiden Leitungszweige die Drähte eines Differential-Galvanoskops einschalten und mit Hülfe desselben mit Leichtigkeit die richtige Einstellung des Widerstandes der Gleichgewichtsleitung bewirken kann.

beschriebene Construction erachtet werden, wie eine längere praktische Erfahrung es bestätigt. Es ist dies Verfahren jedoch da nicht anwendbar, wo die durch die Telegraphenleitung gehenden Ströme nicht von constanter Stärke sind, mithin weder bei längeren unterseeischen oder unterirdischen Leitungen, noch in Fällen, wo eine grössere Zahl von Magnetspiralen in die Leitung eingeschaltet ist. Im ersteren Falle überwiegt bei Beginn des Stromes die Haupt-, im zweiten die Gleichgewichtsspirale, es ist mithin in beiden Fällen kein vollständiges Gleichgewicht beider zu erzielen.

Ein weniger günstiges praktisches Resultat haben Halske und ich bei der Lösung einer anderen Aufgabe, der des gleichzeitigen Sprechens mit zwei Apparaten in derselben Richtung mittels schreibender (Morse'scher) Apparate, erreicht.

Verbindet man mittels passender Mechanismen zwei Batterien von verschiedener Stärke in der Weise mit dem einen Ende eines telegraphischen Leiters und der Erde, dass man, ohne die Continuität des Kreises zu unterbrechen, die eine oder die andere der Batterien oder beide zugleich einschalten kann, so kann man drei verschiedene Stromstärken im Leiter erzeugen. Ist Batterie II doppelt so stark wie Batterie I, so werden die durch Batterie I, II und I + II hervorgebrachten Stromstärken sich wie 1 zu 2 zu 3 verhalten. Sind nun am andern Ende der Leitung zwischen ihnen und die Erde zwei Uebertrager eingeschaltet, von denen der erste durch Stromstärke 1 in Thätigkeit gesetzt wird, während der zweite erst durch Stromstärke 2 zur Anziehung gebracht wird, so erfordert die Lösung der Aufgabe, dass der Uebertrager I nur durch Stromstärke 1 und Stromstärke 3, nicht aber durch Stromstärke 2 in Bewegung gesetzt wird. Dies lässt sich auf sehr viele Weisen erreichen. Wir versuchten zuerst, Anfangs vorigen Jahres, mittels einer Localbatterie die Stromstärke 2 im Uebertrager I zu compensiren. Es geschah dies dadurch, dass der Magnet des Uebertragers I mit zwei Drähten umwunden ward, von denen der eine in die Hauptleitung eingeschaltet war, während der andere von einem Zweigstrome der Localbatterie durchströmt ward, wenn Uebertrager II seinen Anker angezogen hatte. Es ward dieser Localstrom durch einen Rheostat so regulirt, dass er im Uebertrager I einen gleichen und entgegengesetzten Magnetismus wie Strom 2 erzeugte. Es ward daher, wenn Batterie II in die Leitung eingeschaltet ward, Uebertrager I zwar momentan in Thätigkeit gesetzt, sobald jedoch auch Uebertrager II seinen Anker angezogen hatte, begann die Wirkung des Gleichgewichtsstromes und der Anker des Uebertragers I fiel wieder ab, bevor der durch ihn bewirkte momentane Schluss der Localkette ein Zeichen auf dem Papierstreifen hervorbringen konnte. Ward jedoch auch Batterie I eingeschaltet, so circulirte in der Leitung Stromstärke 3, das Gleichgewicht der Ströme im Uebertrager I ward dadurch gestört

und derselbe zog seinen Anker durch Wirkung der Differenz der Ströme — d. i. Stromstärke 1 — an. Das Resultat des Versuches war, wie leicht vorherzusehen war, ungünstig. Abgesehen von der Schwierigkeit, zwei von verschiedenen Batterien erzeugte Ströme in dauerndem Gleichgewicht zu erhalten, war nicht einmal im Zimmer regelmässige Schrift zu erzielen, hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Wirkung des Uebertragers I zu träge wird, wenn die Gleichgewichtsspirale durch die Localbatterie geschlossen ist, und weil Uebertrager II nicht sicher abwechselnd mit Stromstärke 1 und 3 arbeitet — wie es der Fall sein müsste.

Das Stromschema für die beschriebene Lösung der Aufgabe des Doppelsprechens ist Fig. 5 dargestellt. Die Spiralen der Uebertrager

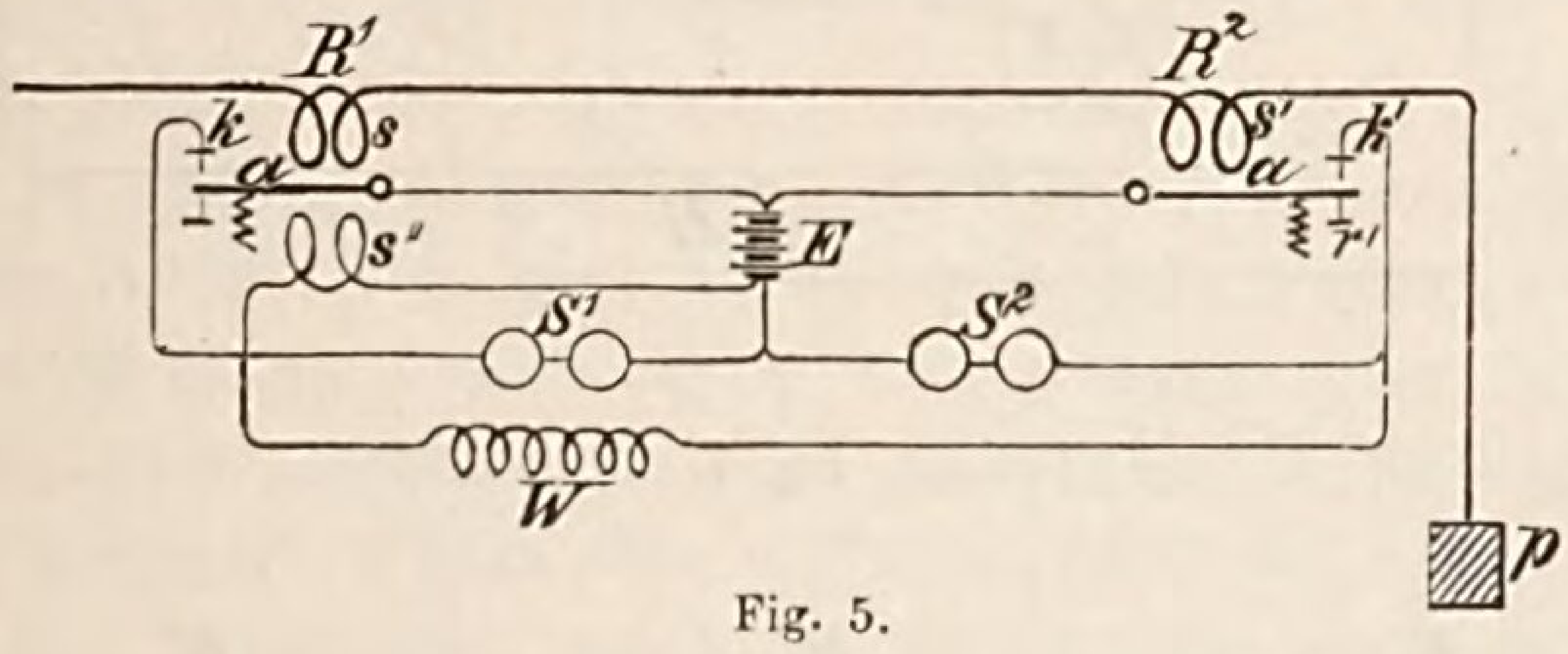


Fig. 5.

R^1 und R^2 sind mit s und s', die Gleichgewichtsspirale des Uebertragers R' mit s'' bezeichnet. a und a' sind die Anker der beiden Uebertrager, k und k' die Contacte derselben, durch deren Berührung mit a und a' der Strom der Localbatterie B durch die Drahtspiralen S und S' der Schreibmagnete hergestellt wird. Durch den Contact $a' - k'$ wird ferner eine Nebenschliessung der Batterie E, durch den Rheostat w und die zweite Spirale s'' des Uebertragers I hindurch, hergestellt. Der Rheostat w wird so eingestellt, dass die Spiralen s und s'' bei Stromstärke 2 gleichen und entgegengesetzten magnetisirenden Effect auf den Eisenkern des Magnetes ausüben, sich mithin bei dieser Stromstärke neutralisiren.

Beim Stromschema Fig. 6 wird dagegen die Spirale s'' dauernd

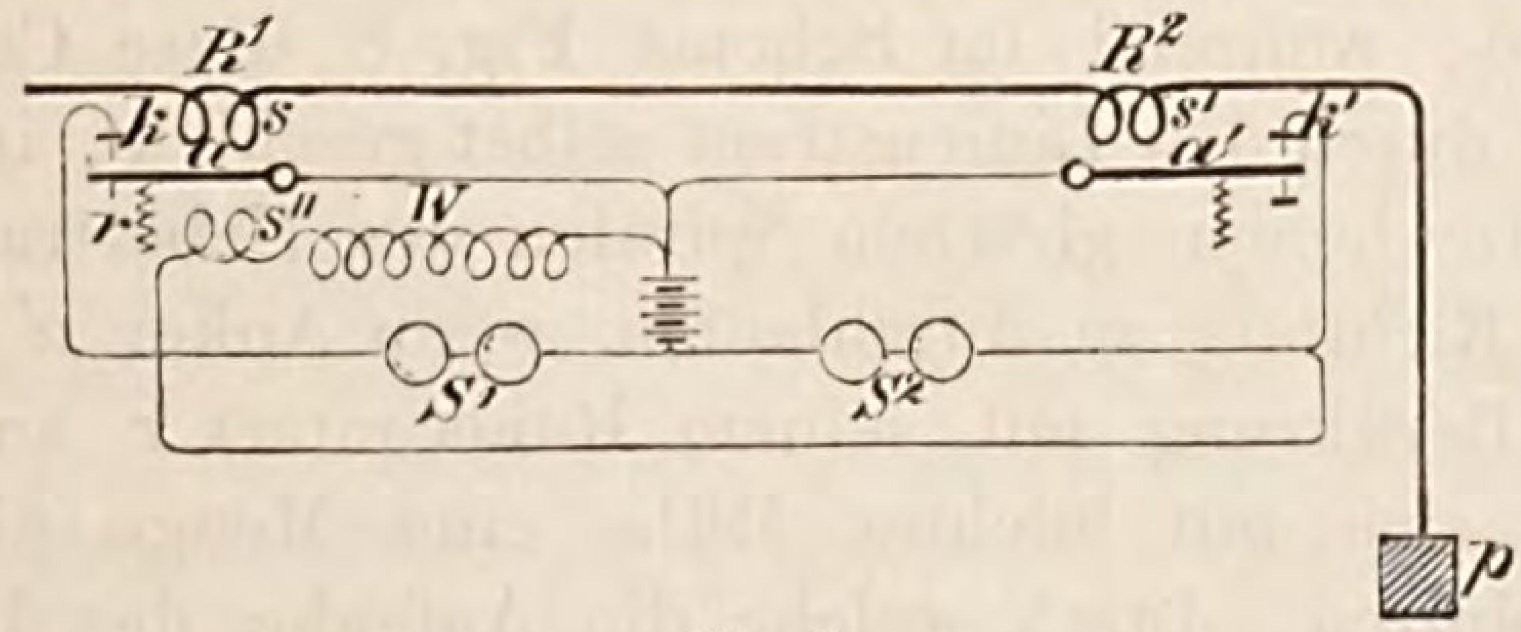


Fig. 6.

von einem Strome der Batterie B durchströmt und zwar in demselben Sinne wie Spirale s. Wird die Leitung von Stromstärke 1 durchströmt, so wird durch gemeinschaftliche Wirkung beider Spiralen der Anker

angezogen. Wird dagegen bei Stromstärke 2 auch Anker *a'* angezogen, so hört der Localstrom durch *s''* auf und der Anker *a* fällt ab. Stromstärke 3 zieht denselben dagegen wieder an.

Mit Hülfe eines dritten Uebertragers R^3, welcher erst mit Stromstärke 3 seinen Anker anzieht, lässt sich die unzuverlässige Neutralisirung der Stromstärke 2 im Uebertrager *R'* durch einen Localstrom beseitigen. Fig. 7 und Fig. 8 stellen zwei derartige Stromschemas dar. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung, wie oben angegeben. Be-

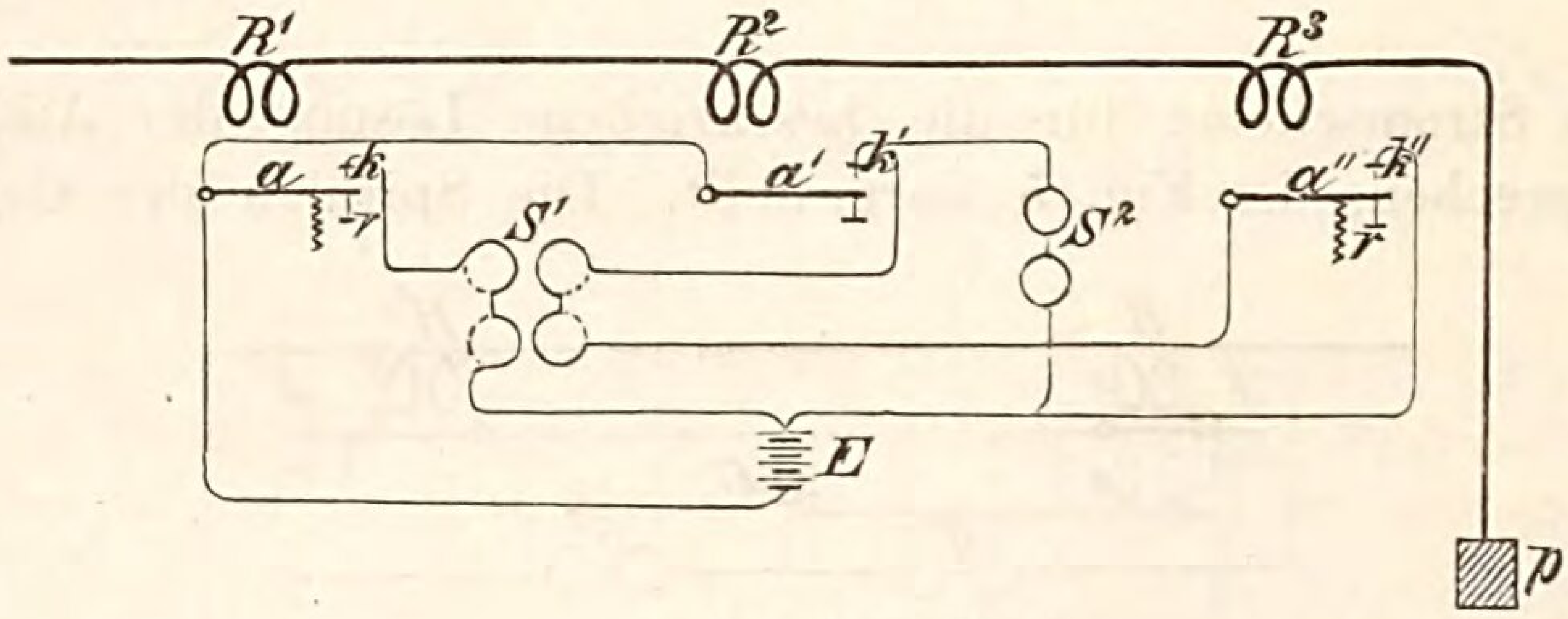


Fig. 7.

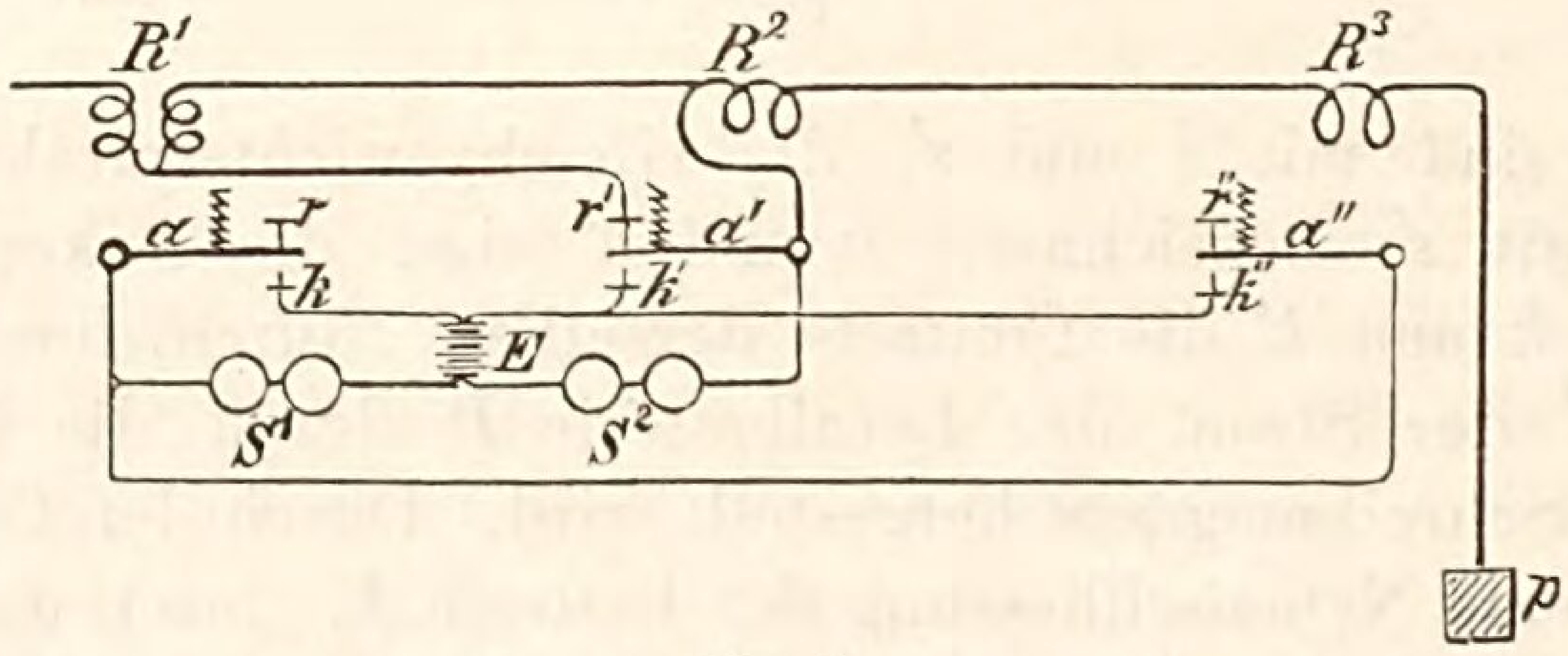


Fig. 8.

rücksichtigt man, dass die starken Linien vom Linienstrome, die schwachen dagegen von Localströmen durchlaufen werden, so werden diese Stromläufe auch ohne specielle Beschreibung verständlich sein. Es werde nur noch bemerkt, dass im Schema Fig. 7 die Wirkung der Stromstärke 2 im doppelt umwundenen Magnet des Schreibapparates compensirt wird, während im Schema Fig. 8 diese Compensation im Uebertrager *R'* durch den Linienstrom selbst geschieht, indem der Strom genöthigt ist, die beiden gleichen Spiralen des Uebertragers *R'* in entgegengesetzter Richtung zu durchlaufen, wenn Anker *a'* angezogen und dadurch seine Berührung mit seinem Ruhecontact *r* aufgehoben wird.

Es lassen sich mit leichter Mühe eine Menge ähnlicher Stromleitungen combiniren, durch welche die Aufgabe des Doppelsprechens mit mehr oder weniger gutem Erfolge gelöst wird. Es ist uns jedoch nicht gelungen, auf einem dieser Wege ein praktisch brauchbares Resultat zu erzielen. Dies lässt sich auch schon dadurch erklären, dass beim Doppelsprechen drei verschiedene Stromstärken benutzt und regulirt

werden müssen, um die telegraphischen Zeichen beider Apparate getrennt zu erhalten, während beim Gegensprechen nur zwei Stromstärken in Betracht kommen. Das Doppelsprechen scheint daher nur geringe Aussicht auf weitere Entwickelung zu haben[1]).

Der Vollständigkeit wegen will ich noch einen Versuch anführen, den Halske und ich anstellten, um die mehrfache gleichzeitige Benutzung eines Drahtes auf ganz abweichendem Wege zu erreichen.

Wenn man in schneller Reihenfolge Ströme von gleicher Stärke und Dauer und wechselnder Richtung, wie sie in der Spirale eines Eisenankers, welcher vor den Polen eines kräftigen Magnetes rotirt, erzeugt werden, durch die Spirale eines Elektromagnetes gehen lässt, so wird im Eisenkerne desselben kein Magnetismus erzeugt. Ein gleichzeitig von diesen Strömen durchlaufener elektro-dynamischer Uebertrager (z. B. ein Weber'sches Elektrodynamometer mit Contactvorrichtung) wird aber durch sie in Thätigkeit gesetzt. Durch einen schwachen constanten Strom, den man allein oder gleichzeitig mit den wechselnden Strömen durch dieselben Spiralen gehen lässt, wird dagegen der Elektromagnet zur Wirkung kommen, während der dynamische Uebertrager, welcher stärkerer Ströme bedarf, durch ihn nicht afficirt wird. Man kann daher auf diese Weise, wenn die oscillirenden Ströme hinlängliche Stärke haben, das Doppelsprechen mit Sicherheit ausführen. Da sich sowohl beim oscillirenden wie beim einfachen Strome das oben beschriebene Gegensprech-Verfahren anwenden lässt, so ist hierdurch auch die Möglichkeit gegeben, Doppel- und Gegensprechen zugleich anzuwenden.

Für die praktische Benutzung ist diese Methode jedoch ebenso wenig

[1]) Hr. Dr. Stark hat in Heft 10, Jahrg. II des Journ. des deutsch-österr. Telegraphen-Vereins zwei Schema's für Doppelsprechen angegeben, von denen das eine mit dem zuerst beschriebenen nahe übereinstimmt. Das andere, mit 3 Uebertragern, ist wenigstens nicht zweckmässiger wie die von uns versuchten. Obschon wir eine Publication unserer Versuche bisher unterlassen haben, indem wir dieselben vorher gänzlich durchzuführen wünschten, so haben wir doch im Laufe des vorigen Jahres häufig mündlich und schriftlich Mittheilungen darüber an alle Diejenigen gemacht, welche sich für die Sache interessirten. Im August v. J. theilte ich u. A. auch Hrn. Prof. Pouillet in Paris einige Stromschema's zur Aufnahme in ein im Druck begriffenes Werk mit.

Am Schlusse seines Aufsatzes stellt Hr. Dr. Stark eine irrthümliche Behauptung auf, welche nicht unberührt bleiben darf, da sie beweist, dass auch er die Ansicht des Hrn. Dr. Gintl, dass elektrische Ströme einander gleichsam durchdringen, ohne sich gegenseitig zu stören, theilt! Er behauptet nämlich, dass sich das Gegensprechen mit dem von ihm beschriebenen Doppelsprechen verbinden lasse, man mithin mit vier Telegraphen gleichzeitig durch denselben Draht telegraphiren könne. Gegen- wie Doppelsprechen durch denselben Draht und mit Morse'schen Schreib- oder überhaupt solchen Telegraphen, welche zur Darstellung ihrer Zeichen Ströme verschiedener Dauer bedürfen, ist nur durch Veränderung der Strömstärke im Leitungsdraht möglich. Gegen- und Doppelsprechen in bisher beschriebener Weise muss sich daher nothwendig gegenseitig stören, ist mithin nicht gleichzeitig ausführbar.

geeignet. Die Anwendung so starker Ströme, wie ein elektrodynamischer Uebertrager sie erfordert, ist im Allgemeinen unzweckmässig. Namentlich sind aber so schnell wechselnde Ströme, wie sie erforderlich sind, damit der elektromagnetische Uebertrager ganz unthätig bleibt, deswegen nicht brauchbar, weil sie nicht auf grosse Entfernungen fortgepflanzt werden können. Bei unterirdischen oder Untersee-Leitungen bedarf diese Erscheinung wohl kaum einer weiteren Begründung. Die von mir zuerst in diesen Blättern beschriebene, später mehrseitig und namentlich durch die Untersuchungen Faraday's bestätigte, elektrostatische Ladung consumirt kurze alternirende Ströme gänzlich. Sind die Stromwechsel beträchtlich schneller wie die Ladungszeiten für den ganzen Draht, so werden zwar positive und negative Ladungswellen sich im Drahte hintereinander fortbewegen, müssen jedoch im Fortschreiten ineinanderfliessen und dadurch sehr schnell an Intensität verlieren. Wie ich in einer besonderen Abhandlung über die Ladungserscheinungen später nachweisen werde, sind auch die oberirdischen Leitungen als grosse Leydener Flaschen, wenn auch von weit geringerer Capacität wie unterirdische von gleichen Dimensionen, zu betrachten, bei denen die zwischen Draht und Erde befindliche Luft die Stelle des Glases der Flasche vertritt. Sowohl die hieraus folgende Ladung oberirdischer Drähte, wie die stets unvollkommene Isolation derselben und die damit verbundene, mit der Stromrichtung wechselnde Polarisation des Drahtes und der die Verbindung mit der Erde herstellenden Platten bewirken eine mit der Entfernung von der Quelle der alternirenden Ströme schnell wachsende Schwächung derselben.

Beantwortung
der

Bemerkungen von Edlund über die Beförderung gleichzeitiger Depeschen.

(Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. S. 310.)

1856.

Hr. Edlund macht im achten Hefte dieser Annalen zuvörderst darauf aufmerksam, dass die von mir beschriebene Methode des Gegensprechens mittels verzweigter Ströme vollkommen mit derjenigen übereinstimme, welche er im Jahre 1848 zur Messung der Faraday'schen Extraströme benutzt habe, und führt den Beweis, dass die von ihm damals benutzte Stromleitung mit geringen Abänderungen zum Gegensprechen hätte benutzt werden können. Hr. Edlund hätte mit gleichem Rechte noch weiter zurückgehen können. Zwei Becquerel'sche Differentialgalvanometer mit doppelten Windungen, wie sie seit lange allgemein zu Widerstandsmessungen benutzt wurden, bilden einen vollständig brauchbaren Apparat zur Ausführung des Gegensprechens mit Zweigströmen. Es kam nur darauf an, diese Idee zu erfassen und praktisch brauchbar zu machen. Bekanntlich aber führt der Weg zu Erfindungen sehr selten geraden Weges zu dem in der Regel sehr nahe liegenden Ziele — wie Hr. Edlund selbst dies wieder recht überzeugend beweist.

Hr. Edlund theilt ferner mit, dass er im August 1854 das Gegensprechen auf einer schwedischen Linie eingeführt und sein Verfahren im Junihefte des Jahres 1855 der Verhandlungen der Stockholmer Akademie der Wissenschaften beschrieben habe. Da dieser Aufsatz meines Wissens in keiner weiteren Kreisen zugänglichen Sprache wiedergegeben ist, so ist er mir allerdings unbekannt geblieben. Es war mir zwar bekannt geworden, dass Hr. Edlund ebenfalls ein Gegensprech-Verfahren erfunden und darauf Patente in verschiedenen Ländern genommen habe, ich wohnte auch, wie ganz richtig bemerkt wird, gelungenen Versuchen mit einem nach seiner Angabe construirten Uebertrager in Paris

bei, konnte jedoch nicht in Erfahrung bringen, wie derselbe construirt sei, und musste annehmen, dass die Construction noch geheim bleiben sollte. Das von Hrn. Frischen einer- und Halske und mir andererseits erfundene Gegensprech-Verfahren mittels verzweigter Ströme ist dagegen in mehreren deutschen Zeitschriften und unter Anderem auch in dem Werke über elektrische Telegraphie von L. Galle[1]), welches im December 1854 in Leipzig erschien, vollständig beschrieben, mithin sechs Monate früher publicirt, wie der Aufsatz des Hrn. Edlund.

Da nach herrschendem Gebrauche das Datum der Publication und nicht das geheim gehaltener Versuche über die Priorität entscheidet, so kommt es wenig darauf an, ob Hr. Edlund oder wir früher Versuche auf der Linie angestellt haben. Wir waren hierin ihm, wie Hrn. Frischen gegenüber im Nachtheile, da uns die chemischen Telegraphenlinien leider nicht zugänglich sind, wir daher unsere Versuche im Zimmer vollständig zum Abschluss bringen müssen, um nicht zu oft die sehr anzuerkennende Gefälligkeit der Telegraphen-Directionen benachbarter Länder in Anspruch nehmen zu müssen. Jedenfalls hat Herr Frischen zuerst gelungene Versuche auf der Linie angestellt — wie er zu beweisen verspricht, wenn Hrn. Edlund daran liegen sollte.

Hr. Edlund will eine wesentliche Verschiedenheit und einen Vorzug seines Verfahrens darin finden, dass er den Gleichgewichtszweigen einen geringeren Widerstand und entsprechend geringere Windungszahl giebt wie dem Hauptzweige. Wir haben dies, wie ich auch in meinem Aufsatze deutlich genug ausgesprochen habe, anfänglich stets und später, nachdem wir in Uebereinstimmung mit den Erfahrungen des Hrn. Frischen diejenigen Apparate, welche auf langen Linien functioniren sollten, mit gleichen Spiralen versehen hatten, auch sehr häufig gethan. Hr. Edlund hat indess ganz Recht, wenn er darauf aufmerksam macht, dass das magnetische Gleichgewicht im Uebertrager der gebenden Station gestört wird, während der Schlüssel der empfangenden Station aus der einen Ruhelage in die andere übergeht. Er übersieht jedoch in seiner Berechnung, dass man es *in praxi* nie mit vollkommen isolirten Linien, wie er sie annimmt, zu thun hat. Je grösser aber die Nebenschliessungen der benutzten Leitung sind, desto verschwindender wird der Einfluss, den Widerstandsänderungen am Ende derselben auf die Stromstärke der Batterie ausüben. Demungeachtet würde Hr. Edlund im Rechte sein, diesen immerhin nachtheiligen Einfluss so viel wie möglich zu reduciren, wenn nicht andere Gründe dagegen sprächen. Diese bestehen darin, dass sowohl in Folge unvollkommener Isolation der Leitung, wie auch der der gleichmässigen Entwickelung des galvanischen Stroms vorhergehenden elektrostatischen Ladung des Drahtes der durch den Zweigdraht des eigenen Uebertragers gehende Strom

[1]) Katechismus d. elektrischen Telegraphie; von L. Galle. Leipzig 1855.

viel stärker wird, wie der Theil desselben, welcher die Windungen des entfernten Uebertragers erreicht, und dass der erstgenannte, weit stärkere Strom in jedem Augenblicke seines Entstehens im Gleichgewicht mit seinem Zweigstrome sein muss. Da nun in einer dicken Spirale dünnen Drahtes die Entwickelung des Stromes durch den Schliessungs-Gegenstrom beträchtlich verlangsamt wird, wie Hr. Helmholtz[1]) durch Messungen bewiesen hat, während er in der aus wenig Lagen bestehenden Gleichgewichts-Spirale momentan entsteht, so ist es klar, dass in dieser Hinsicht gleichzeitig und in gleicher Länge aufgewundene Zweigdrähte den Vorzug vor den von Hrn. Edlund vertretenen ungleichen Spiralen verdienen. Dass der Einfluss der Verzögerung der Entwickelung des Stromes nicht unerheblich ist, geht schon daraus hervor, dass bei den bisher bekannten Methoden das Gegensprechen gar nicht mehr gelingt, wenn die Magnet-Spiralen einiger Zwischen-Stationen in die Leitung eingeschaltet sind. Es bildet dies sogar bisher das wesentlichste Hinderniss der allgemeinen Benutznng des Gegensprechens.

Keineswegs will ich hiermit ausgesprochen haben, dass eine Verminderung des Widerstandes der Gleichgewichtszweige in der Mehrheit der Anwendung unzweckmässig wäre; ich behaupte nur, dass diese Frage zu complicirt ist, um auf andere Weise wie durch praktische Erfahrung entschieden werden zu können. Wir nahmen daher auch keinen Anstand, von unserer anfänglichen Praxis abzugehen und die von Hrn. Frischen auf Grund seiner reicheren Erfahrung bei Benutzung des Gegensprechens auf längeren Linien vorgeschlagene Gleichartigkeit beider Spiralen zu adoptiren, als es sich darum handelte, eine gleichmässige, gemeinschaftliche Construction festzustellen.

Der Rechnung, durch welche Hr. Edlund den Beweis führt, dass die Verstärkung der Kette, welche durch die Verminderung des Widerstandes des Gleichgewichtszweiges nothwendig wird, nicht wesentlich in Betracht komme, hat derselbe ebenfalls vollkommen isolirte Leitungen zu Grunde gelegt. Praktische Constructionen müssen jedoch auf die ungünstigsten basirt sein. Soll das Gegensprechen sich allgemeineren Eingang verschaffen, so muss es auch dann noch mit Sicherheit ausführbar sein, wenn nur wenige Procente des in die Leitung eintretenden Stromes das Ende derselben erreichen. Da jedoch in der Regel Ketten von geringem Widerstande verwendet werden, so ist in der That dieser von mir auch nur beiläufig angeführte Einwurf gegen die Verminderung des Widerstandes des Gleichgewichtskreises ziemlich unerheblich.

Endlich greift Hr. Edlund noch meine Behauptung an, dass die Stärke des Stromes in der Leitung mit der Grösse der Polarisation der benutzten inconstanten Kette variire, und sucht durch eine Rechnung, welche mir unverständlich geblieben ist, zu beweisen, dass die durch

[1]) Pogg. Ann. LXXXIII. 505.

die Polarisation der Kette herbeigeführte Schwächung des Linienstromes unabhängig von der Grösse der Polarisation der Kette sei. Da aber die Polarisation als Verminderung der elektromotorischen Kraft der Kette in Rechnung zu ziehen ist, so muss selbstredend die Stromstärke in allen Verzweigungen des Schliessungsbogens derselben gleichmässig mit der Grösse der Polarisation abnehmen. Ist daher in dem einen Falle die Grösse der Polarisation mit Hrn. Edlund gleich p, in dem andern gleich $n \cdot p$, so vermindert sich die Stromstärke in allen Verzweigungen der Batterie — mithin auch im Uebertrager der entfernten Station — vom Beginn des Stromes bis zu dem Augenblicke, in welchem die elektromotorische Kraft der Batterie durch Polarisation um die Grösse p und resp. $n \cdot p$ vermindert ist, im Verhältnisse dieser Verminderungen. War also die Schwächung des ankommenden Stromes in einem Falle gleich p, so ist sie im anderen gleich $n \cdot p$, sie ist daher nicht unabhängig von der Grösse der Polarisation, wie Hr. Edlund behauptet, sondern direct abhängig von ihr.

Das von Hrn. Edlund in seinen Bemerkungen beschriebene Verfahren der Regulirung des Gleichgewichts beider Spiralen durch Veränderung der Zahl der Windungen, welche der einen oder anderen Spirale angehören, ist sehr sinnreich und wird, ohngeachtet der grösseren Complication der Construction, häufig mit Vortheil benutzt werden können.

Ich benutze schliesslich die sich mir darbietende Gelegenheit, um eine irrthümliche Ansicht, die ich in einer Anmerkung meines Aufsatzes ausgesprochen habe, selbst zu rectificiren. Ich stellte einer anders lautenden Behauptung des Hrn. Stark gegenüber die Ansicht auf, dass es nicht möglich sei, denselben Draht gleichzeitig zum Gegen- und Doppelsprechen zu benutzen, da Beides auf Veränderung der Stromstärke im Leitungsdraht basire. Dies ist zwar ganz richtig, jedoch nicht die daraus gezogene Folgerung. Da nämlich die drei Batterien der gegensprechenden Station ihre Ströme mit denen der anderen combiniren, so entsteht eine hinlängliche Zahl von Strömen verschiedener Stärke, um die Zeichen der vier Apparate geschieden zu halten. Natürlich kann nie die Rede von einer praktischen Benutzung des theoretisch ausführbaren, gleichzeitigen Doppel- und Gegensprechens sein.

Berichtigung der Schlussworte
des Herrn Edlund:
Ueber das telegraphische Gegensprechen.

(Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. S. 653.)

1857.

Hr. Edlund hält meiner „Beantwortung“ seiner „Bemerkungen“ gegenüber drei seiner Angriffspunkte aufrecht und zwingt mich dadurch und noch mehr durch den abfertigenden Ton seiner Schlussworte zu einer kurzen, aber hoffentlich verständlichen Berichtigung.

Obschon ich Hrn. Edlund zugegeben habe, dass Gleichgewichtsspiralen von geringerem Widerstande wie dem der Leitung in mancher Hinsicht vortheilhafter sind, und wiederholt angeführt habe, dass Halske und ich nur auf Grund gemachter vergleichender Versuche von unserer ursprünglichen Construction, bei welcher wir Gleichgewichtsströme von grösserer Stärke benutzten, später abgewichen sind, bemüht sich Hr. Edlund abermals die Vorzüge derselben hervorzuheben. Ich führte in meiner „Beantwortung“ an, dass der *extra-current* der Magnetspiralen, die auch bei langen oberirdischen Leitungen auftretenden Ladungsströme und die stets mehr oder weniger unvollkommene Isolirung der Drähte bei der theoretischen Vergleichung beider Constructionen in Betracht gezogen werden müssten, und erklärte, dass die Frage zu complicirt sei, um auf andere Weise als durch vergleichende Versuche entschieden werden zu können. Herr Edlund berücksichtigt in seinen „Schlussworten“ nur den Einwand der unvollständigen Isolirung der Leitungen, giebt zwar zu, dass sie den Nachtheil grosser Gleichgewichtsspiralen zum Theil compensirte, behauptet aber, dass sie auf den dortigen Linien nur gering sei, und belehrt mich, dass man die Erscheinungen des galvanischen Stromes hinreichend kenne, um die Wirkungen verschiedener Spiralen im Voraus berechnen zu können.

Da Hr. Edlund nur einen der von mir angeführten Gründe berücksichtigt hat und da gerade die unvollkommene Isolirung der Leitungen

und die mit ihr zusammenhängenden Uebergangsströme von einer Leitung zur anderen nebst dem nachtheiligen Einflusse des *extra-current*'s die allgemeinere Benutzung des Gegen- wie des Doppelsprechens vereitelt haben, so hat die Frage, ob ein grösserer oder geringerer Gleichgewichtswiderstand zweckmässiger ist, augenblicklich kein praktisches Interesse mehr, und es lohnt sich nicht der Mühe, eingehendere Rechnungen darüber anzustellen.

Hr. Edlund ist damit einverstanden, dass man bei Gleichgewichtsspiralen von geringerem Widerstande die Kette verstärken müsse, um den Linienstrom ebenso stark zu machen wie im anderen Falle. Er nennt diese Verstärkung unbedeutend. Ich behauptete, sie „komme mehr in Betracht", wenn die Isolation der Leitung schlecht sei. Hr. Edlund sagt, es sei ihm unmöglich, einzusehen, was ich damit habe sagen wollen. Geht die Hälfte des Stromes durch Nebenschliessungen verloren, so muss die Kette doppelt so stark werden, damit der ankommende Strom die nöthige Stärke bekommt. Musste man bei gut isolirten Leitungen daher z. B. die Kette um 10 Zellen vergrössern, wenn man Gleichgewichtsdrähte von geringerem Widerstande benutzte, so muss man sie um 20 vergrössern, wenn die Hälfte des Stromes verloren geht. Da nun ein Mehrverbrauch von 20 Zellen mehr in Betracht kommt, wie ein Mehrverbrauch von 10 Zellen, so kann die Richtigkeit meiner Behauptung wohl nicht in Abrede gestellt werden. Uebrigens wird die Zahl 20 noch vergrössert, wenn man den Widerstand der hinzugesetzten Zellen berücksichtigt.

Hr. Edlund giebt mir schliesslich den Rath, seine Rechnung, welche beweisen soll, dass die durch die Polarisation der Kette herbeigeführte Schwächung des Linienstromes durch die Verstärkung des Stromes der Kette nicht vermehrt würde, noch einmal durchzulesen und hofft, dass ich sie dann verstehen würde.

Ich bediente mich des Ausdrucks, sie sei mir unverständlich geblieben, nur deshalb, weil ich glaubte, Herr Edlund habe den in derselben begangenen Fehler nur übersehen, und es sei genügend, ihn darauf aufmerksam zu machen. Da er aber die Richtigkeit seiner Rechnung wiederholt aufrecht erhält und behauptet, die meinige beweise nur seine Voraussetzung, so kann ich ein näheres Eingehen auf die vorliegende, sehr einfache physikalische Frage nicht ferner vermeiden.

Der Strom einer unconstanten Kette theilt sich in zwei Zweige, von denen der eine die Leitung, der andere einen Zweigdraht durchläuft. Dieser Zweigdraht hat in dem einen der beiden betrachteten Fälle gleichen Widerstand wie die Leitung, im anderen einen bedeutend geringeren. Die Kette ist im zweiten Falle um so viel verstärkt, dass der anfängliche Linienstrom eben so gross ist wie im ersten Falle. Hr. Edlund will nun durch seine Rechnung beweisen, dass die Schwächung des Linienstromes durch die Polarisation der Kette in beiden Fällen ganz gleich sei, obgleich die Polarisation proportional dem Strome der

Kette, mithin im zweiten Falle weit grösser sei wie im ersteren. Er sagt in seinen „Bemerkungen“ Bd. VIII, S. 636:

„Ist der Widerstand der Nebenschliessung dem der ganzen Linie gleich, so geht die Hälfte des Stromes zur nächsten Station über. Wir können mithin den ganzen Strom mit 2 und jeden seiner beiden Theile mit 1 bezeichnen. Wird die Polarisation der Kette mit $2p$ bezeichnet, so wird dadurch in dem nach der entfernten Station gehenden Strome eine Schwächung erzeugt, die gleich p ist“ etc.

In diesem „gleich p“ liegt der Irrthum der Rechnung. Die Schwächung ist nicht gleich p, sondern proportional $2p$. Ist also im zweiten Falle die Polarisation gleich $2np$, wie Hr. Edlund annimmt, so verhalten sich die Stromschwächungen in beiden Fällen wie $2p : 2np$, mithin wie $1 : n$ oder wie die Stromstärken der Kette.

Da diese von mir in meinen „Bemerkungen“ schon ausgeführte Rechnung Hrn. Edlund nicht von der Unrichtigkeit der seinigen überzeugt hat, so will ich das gesuchte Verhältniss der Stromschwächungen noch in einer allgemeineren Form entwickeln.

Es sei s und s' die anfängliche und endliche Stromstärke in dem einen, s und s'' dieselbe im zweiten Falle, so ist $\frac{s - s'}{s - s''}$ das gesuchte Verhältniss der Stromschwächungen. Besteht nun die Kette im ersten Falle aus n, im zweiten aus m Zellen, von denen jede die elektromotorische Kraft e hat; wird ferner der Widerstand der Leitung, des Zweigdrahtes und der Kette in einem Falle mit l, w und W, im zweiten mit w, w' und W', ferner die Polarisation einer Zelle jeder Kette mit p und p' bezeichnet, so ist:

$$s = ne \frac{w}{lw + lW + wW} = neW \text{ und}$$

$$s = me \frac{w'}{lw' + lW' + wW'} = meW'$$

woraus $nW = mW'$, ferner

$$s' = (ne - np)\, W$$

$$s'' = (me - mw)\, W' \text{ und}$$

$$\frac{s - s'}{s - s''} = \frac{npW}{mp'\, W'} = \frac{p}{p'}.$$

Die Stromschwächungen verhalten sich daher wie die Polarisation gleicher Zellenzahlen der benutzten Ketten oder wie die endlichen Stromstärken der Ketten.

Vielleicht hat Hr. Edlund durch $2p$ und $2np$ nicht die Polarisationen selbst, sondern die für sie zu substituirenden, gleiche Stromschwächungen erzeugenden Gegenströme bezeichnen wollen, ohne zu bedenken, dass dieselben in Schliessungsbögen von verschiedenem Widerstande auftreten, sich mithin umgekehrt wie die Quadrate derselben verhalten.

Ueber die elektrostatische Induction und die Verzögerung des Stroms in Flaschendrähten.

(Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 102, S. 66.)

1857.

Vor mehreren Jahren beschrieb ich in diesen Annalen [1]) und an anderen Orten die Erscheinung, dass ein kräftiger Strom von geringer Dauer auftritt, wenn man einen unterirdischen, gut isolirten Telegraphendraht mit dem freien Pole einer zur Erde abgeleiteten galvanischen Kette in leitende Verbindung setzt. Ich wies ebendaselbst nach, dass diese Erscheinung der vertheilenden Wirkung der Volta-Elektricität im Drahte auf die als äussere Belegung der Drahtflasche auftretende Feuchtigkeit des Erdbodens zuzuschreiben sei, und auch dann auftreten müsse, wenn ein Ende des Drahtes leitend mit der Erde verbunden sei. Die meinem damaligen Aufsatze in diesen Annalen beigefügten Ladungs-Figuren gaben vollständigen Aufschluss über die relativen Mengen der Elektricität, welche in jedem Punkte der Oberfläche des isolirten oder abgeleiteten unterirdischen oder Flaschendrahtes in statische Anordnung übergingen, wenn die Dicke des Drahtes und des isolirenden Ueberzuges unverändert blieb.

Durch anderweitige Thätigkeit, und später durch die Ersetzung der früheren unterirdischen Telegraphenleitungen durch oberirdische ward ich verhindert, die Versuche über diesen Gegenstand weiter zu verfolgen, und die erwähnten Lücken auszufüllen. Seit jedoch die von mir im Jahre 1847 in Vorschlag gebrachte Isolirungsmethode telegraphischer Leitungen durch Umpressung mit Guttapercha unter Anwendung eines besseren Materials, wie uns damals zu Gebote stand, in England wieder aufgenommen ist, und sowohl zu unterirdischen, wie namentlich zu Untersee-Leitungen vielfach benutzt wird, hat auch die

[1]) Bd. 79. 1850. S. 481. — Annales de chim. et de phys. 3me Sér. t. XXIX, p. 385.

elektrostatische Ladung dieser Drähte und die aus ihr folgende Verzögerung des Auftretens des elektrischen Stromes am entfernten Ende der Leitung die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Ohne meine Mittheilung zu kennen, haben ausgezeichnete englische Physiker und Mathematiker, namentlich Faraday, Wheatstone und Thomson, die elektrostatische Ladung und die Verzögerung des Stromes in Flaschendrähten zum Gegenstande ihres Studiums gemacht und sehr werthvolle Arbeiten darüber publicirt, durch welche theils meine früheren Beobachtungen vollständig bestätigt und erweitert, theils, und namentlich durch die von Thomson ausgeführten Rechnungen, die von mir offen gelassenen Lücken ausgefüllt wurden.

Ich werde auf diese neueren Arbeiten im zweiten Theil meines Aufsatzes mehrfach zurückkommen. Schon vor dem Erscheinen derselben war ich mit der vorliegenden, durch anderweitige Beschäftigung häufig unterbrochenen Experimental-Untersuchung der elektrostatischen Induction durch Volta-Elektricität beschäftigt. Nächste Veranlassung zu derselben lag für mich in Erscheinungen, welche ich mit der bisherigen Vertheilungstheorie nicht in Uebereinstimmung zu bringen vermochte. Die oben erwähnten Arbeiten englischer Physiker bestärkten mich noch mehr in meinem Vorhaben, da sie, namentlich Thomson bei seinen Berechnungen, ganz von der von Faraday aufgestellten Theorie der ausschliesslichen Molecular-Induction als Ursache der elektrischen Vertheilung ausgingen, ohne weitere Beweise der Richtigkeit derselben zu geben, als bisher vorlagen. Mein Zweck war nun der, auf rein experimentellem Wege die Gesetze der elektrostatischen Vertheilung durch Volta-Elektricität zu finden und zu constatiren, um dadurch eine sichere Basis für praktische Constructionen zu gewinnen. Wissenschaftliche Betrachtungen und Seitenblicke auf die Theorien, welche auf Versuche mit Elektricität von hoher Spannung begründet sind, konnte ich zwar nicht vermeiden, lege aber nur insofern besonderen Werth auf dieselben, als sie die für Volta-Elektricität gewonnenen Resultate klarer beleuchten.

Volta hat durch seine Condensator-Versuche schon gezeigt, dass die mit dem isolirten Pole einer galvanischen Kette in leitende Verbindung gebrachten Körper auf benachbarte Leiter wirken. Guillemin[1]) publicirte zuerst Versuche, aus denen sich ergab, dass der durch ein Galvanometer geführte Ladungsstrom einer durch Volta-Elektricität geladenen Flasche die Nadel des Instruments merkbar abzulenken vermag. Ich hatte zwar schon im Sommer 1849 erkannt, dass der kräftige Ausschlag der Nadel eines Galvanometers, welches zwischen einem isolirten in der feuchten Erde oder im Wasser liegenden Flaschendraht und einer abgeleiteten galvanischen Batterie eingeschaltet wird, auf elektrostatischer Ladung des Flaschendrahtes beruhte, und diese Ansicht, so

[1]) Compt. rend. T. XXIX, p. 632. Ann. Bd. 79, S. 335.

wie die Versuche, auf welche sie sich stützte, der Berliner physikalischen Gesellschaft am 18. Januar 1850 mitgetheilt; mein Aufsatz aber ward später abgedruckt wie der Guillemin's.

Dieser verband die Stanniolbelegungen eines aus dünnem Tafft oder Guttapercha gebildeten Condensators von 1 bis 2 Quadratmeter Oberfläche in schneller Reihenfolge abwechselnd mit den Polen einer isolirten galvanischen Batterie und den Drähten eines Galvanometers. Dies wurde durch einen Scheiben-Commutator, welcher in schnelle Rotation gesetzt ward, ausgeführt. Er fand auf diese Weise, dass die Nadel des Galvanometers abgelenkt ward, und dass diese Ablenkung mit der Geschwindigkeit der Drehung des Commutators und der Stärke der Batterie zunahm. Messende Versuche sind meines Wissens weder von ihm, noch von Andern bisher hierüber angestellt worden. Bei den im Jahre 1849 angestellten Versuchen benutzte ich die vorhandenen unterirdischen Telegraphenleitungen. Dieselben wurden am entfernten Ende isolirt und das andere Ende mittels eines Commutators abwechselnd mit dem freien Pole einer abgeleiteten galvanischen Batterie und mit einem direct zur Erde führenden Drahte in leitende Verbindung gebracht. Der Draht des zwischen dem unterirdischen Leiter und dem Commutator eingeschalteten Galvanometers ward mithin abwechselnd vom Ladungs- und vom Entladungsstrome durchlaufen. War die Ladungszeit klein gegen die Schwingungsdauer der Nadel, so konnte der Sinus des halben Ausschlagwinkels als Mass der Elektricitätsmenge angenommen werden, welche durch das Galvanometer gegangen war. Er war mithin auch das Mass der Ladungsgrösse. Bei nicht zu langen, sehr gut isolirten Leitungen bekam ich auf diese Weise ausreichend genaue Resultate. Es ergab sich, dass der Ausschlag der Ladung eben so gross war, wie der der Entladung. Die Ladung war ferner proportional der Länge der Leitung und der elektromotorischen Kraft der benutzten Batterie.

Zu genaueren Messungen liess sich diese Methode ausser manchen localen Schwierigkeiten schon deswegen nicht benutzen, weil die langen Leitungen nicht vollkommen genug isolirt waren, und weil die Ladungsströme eine zu grosse Dauer hatten.

Meine späteren Versuche waren anfänglich auch nur darauf gerichtet, die relative Grösse der Ladung bei Flaschendrähten, von verschiedenen Dimensionen des Drahtes und des isolirenden Ueberzuges, sowie die Ladung zwischen Doppeldrähten, welche, in geringer Entfernung von einander, im Innern eines gemeinschaftlichen Ueberzuges von Guttapercha von kreisförmigem oder elliptischem Querschnitt liegen, zu bestimmen. Ich liess mir zu diesem Zweck mehrere Drähte von einer englischen Meile Länge anfertigen, bei denen die Dicke der isolirenden Guttapercha-Hülle innerhalb praktisch anwendbarer Grenzen variirte. Diese Drähte wurden auf Holztrommeln

gewickelt und in ein hölzernes, mit Zinkblech ausgelegtes Bassin gelegt, welches mit Wasser gefüllt ward. Wurde nun eine galvanische Batterie von 20 bis 60 Daniell'schen Elementen mit einem Galvanometer mit einfacher Nadel und 24000 Windungen zwischen einem solchen isolirten Draht und der Zinkhülle des Bassins eingeschaltet, so erhielt ich hinlänglich grosse Ausschläge der Nadel zur Messung der Ladung.

Ich überzeugte mich jedoch bald, dass ich auf diesem Wege keine sicheren und allgemein gültigen Resultate erlangen konnte. Die geringste Unvollkommenheit der Isolation hatte einen sehr beträchtlichen Einfluss auf die Grösse des Ausschlags der Nadel, der sich bei der Veränderlichkeit des durch die Guttapercha gehenden Stroms nicht in Rechnung stellen liess. Die Dauer des Ladungsstroms war ferner schon beträchtlich genug, um Einfluss auf den Ausschlag der Nadel auszuüben. Es ergab sich endlich, dass die Resultate der Messungen so wesentlich von den nach der Theorie erwarteten abwichen, dass eine allgemeinere Untersuchung des Vorganges der elektrostatischen Induction durch Volta-Elektricität geboten war.

Ich habe bei dieser Untersuchung die von Guillemin benutzte Methode, eine continuirliche Reihe von Ladungs- und Entladungsströmen durch ein empfindliches Galvanometer zu leiten, angewandt. Um diese Methode zur Messung benutzen zu können, musste ein Commutator construirt werden, welcher mit Sicherheit und durchaus constanter Geschwindigkeit die Commutation ausführte. Ich benutzte dazu denselben Mechanismus, den ich bei meinem an mehreren Orten beschriebenen Zeigertelegraphen mit selbstthätiger Stromunterbrechung angewendet habe. Es bewog mich dazu die bei diesen Telegraphen gemachte Beobachtung, dass die Geschwindigkeit des Ganges des Telegraphen von der Stromstärke nur in sehr geringem Grade abhängig war. Dies erklärt sich dadurch, dass bei grösserer Stromstärke zwar der Anzug des Ankers schneller ausgeführt wird, der Rückgang desselben jedoch durch den stärkeren rückbleibenden Magnetismus so verzögert wird, dass die Zeit der Gesammtoscillation nahe unverändert bleibt. Fig. 9 und 10 stellen die hiernach construirte selbstthätige Wippe in oberer und Seitenansicht in halbem Maasstabe dar.

Zwischen den Polen *a* und *a'* des unter der Grundplatte des Apparats befindlichen Elektromagnets oscillirt das als Anker dienende Eisenstück *b*. Dasselbe dreht sich um die verticale Axe *c*. An der Axe ist der horizontale Arm *d* befestigt, welcher durch die Zugfeder *e* das Zahnrad *f* bewegt und kurz vor der Begrenzung seiner Oscillationen durch die Anschlagschrauben *m* und *n* vermittels der mit isolirenden Steinen versehenen Anschlagstücke *i* und i_1 die Schieber *k* und *k'* bewegt. Diese Schieber drehen sich um die Axe *l* und *l'*. Ihre Bewegung ist durch die Contactschrauben *m* und *n* resp. *m'* und *n'* eng begrenzt. Das federnde Ende der Schieber *k* und *k'* ist mit einer

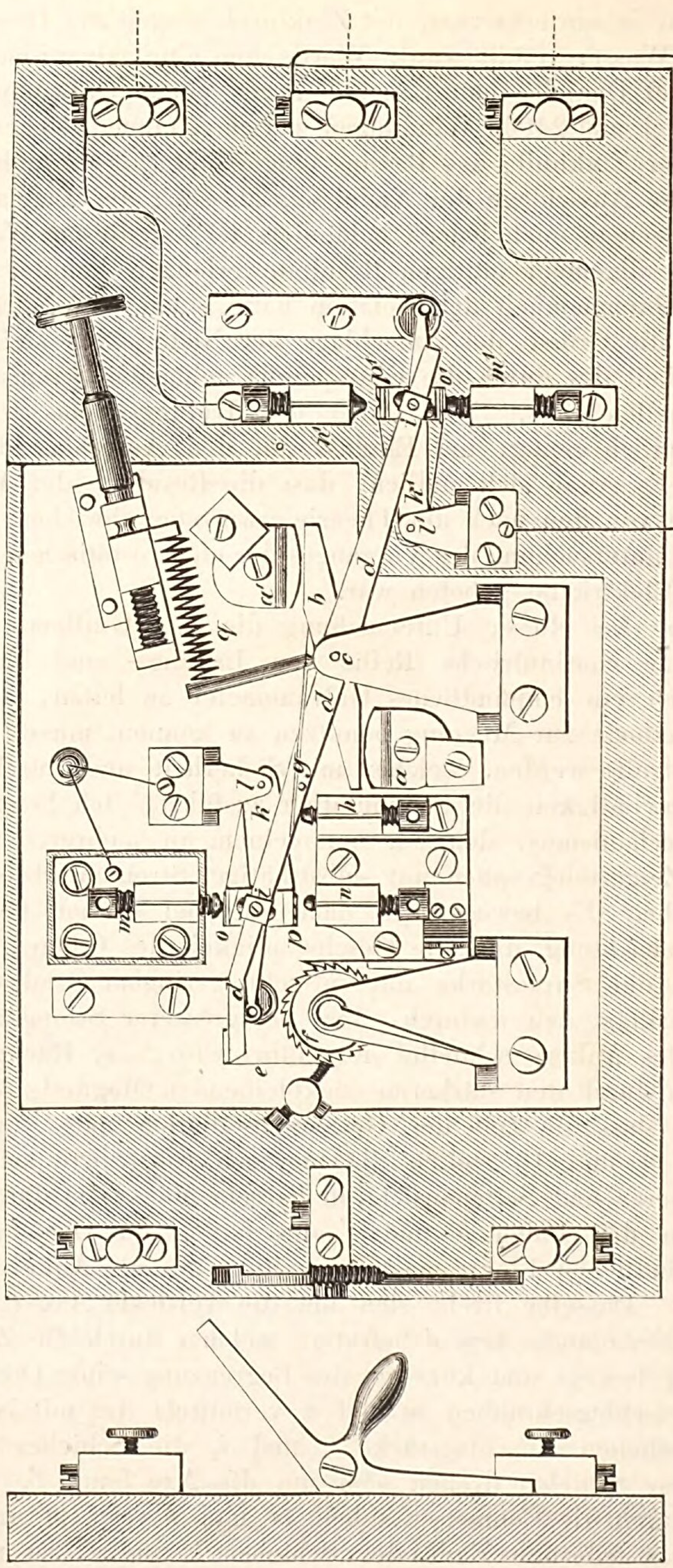


Fig. 9.

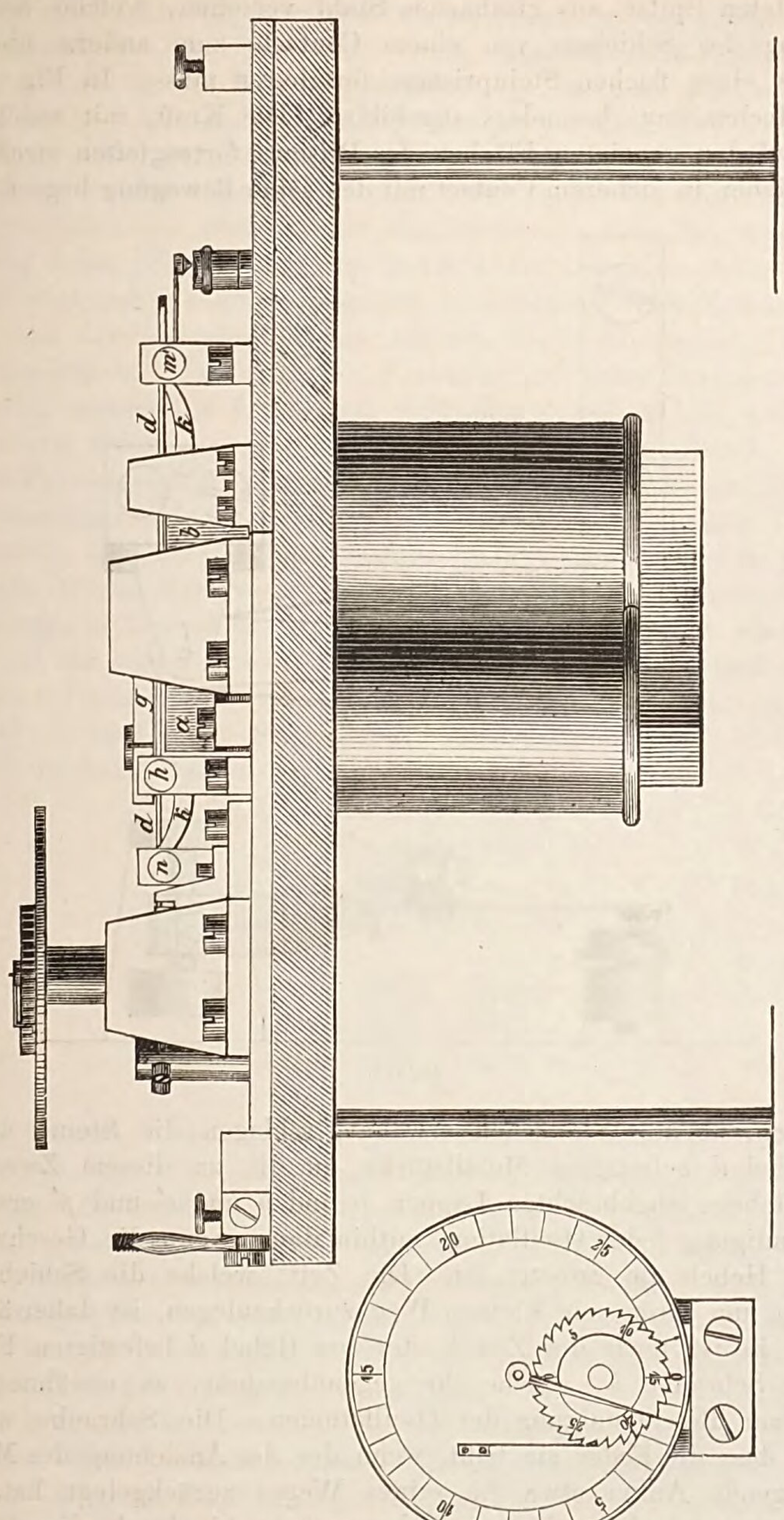


Fig. 10.

abgerundeten Spitze aus glashartem Stahl versehen, welche bei jeder Bewegung des Schiebers von einem Contacte zum andern über die Schneide eines flachen Steinprismas fortgleiten muss. In Fig. 11 ist dieser Mechanismus besonders abgebildet. Die Kraft, mit welcher die Spitze auf den geneigten Flächen des Prismas fortzugleiten strebt, hält den Schieber in sicherem Contact mit den seine Bewegung begrenzenden

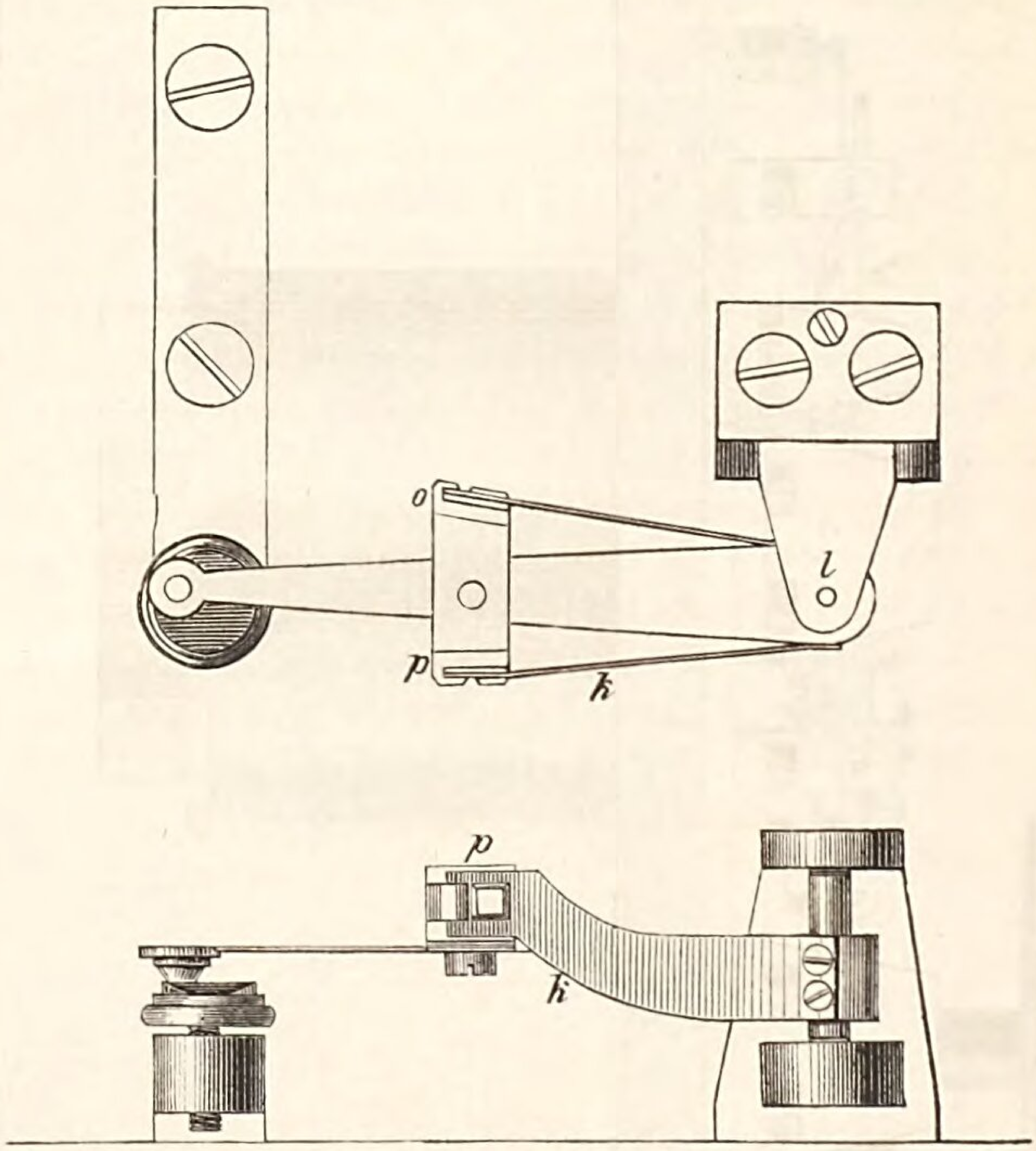


Fig. 11.

Contactschrauben. Wie schon erwähnt, schlagen die Steine der auf dem Hebel *d* befestigten Metallstücke an die zu diesem Zwecke an den Schiebern angebrachten Lappen *o* und *p* und *o'* und *p'* erst kurz vor Beendigung jeder Oscillation, mithin dann, wenn die Geschwindigkeit des Hebels am grössten ist. Die Zeit, welche die Schieber gebrauchen, um ihren sehr kleinen Weg zurückzulegen, ist daher äusserst gering. Es ist noch der Zweck der am Hebel *d* befestigten Feder *g* und der Schraube *h*, welche ihr gegenüberstebt, zu erwähnen. Sie dienen zur Beschleunigung der Oscillationen. Die Schraube wird so gestellt, dass die Feder sie trifft, wenn der der Anziehung der Magnetpole folgende Anker etwa $^2/_3$ seines Weges zurückgelegt hat. Die Feder muss sich daher biegen und verstärkt hierdurch die der Anziehung des Magnetpols entgegenwirkende Kraft der Spiralfeder *q*.

Richtiger würde es sein, statt der beiden Federn g und q eine einzige Feder anzuwenden, welche so kurz wäre, dass ihre Kraft proportional mit der Anziehung des Magnetes zunähme — was sich aber nicht ausführen lässt. — Das Rad f ist mit 60 Zähnen versehen, die Zahl seiner Umdrehungen in der Minute giebt daher die Zahl der doppelten Oscillationen in der Secunde. Der Schieber k und die Contactschraube m bilden Theile der Stromleitung der Batterie, welche den Apparat in Bewegung setzt. Sie besteht aus 3 bis 4 Daniell'schen Zellen. Sind die Federn g und q richtig eingestellt, so erfolgen die Oscillationen sehr schnell und durchaus gleichförmig, wie aus der nachfolgenden Versuchsreihe sich ergiebt. Der Schieber k' sowohl wie seine Contactanschläge sind durch gehärteten Kautschuk vollkommen isolirt. Sie bilden zusammen eine einfache, schnell und gleichmässig functionirende Wippe.

Zur Prüfung des Apparates setzte ich denselben mit drei Daniell'schen Elementen in Gang. Dies liess sich vermittels eines Contacthebels genau in dem Momente ausführen, in welchem eine im Zimmer befindliche magnetelektrische Uhr um eine Minute vorrückte. Mit dem Schlage der zweiten Minute ward der Contacthebel wieder geöffnet, und am Zähler und Zeiger die Zahl der gemachten Oscillationen abgelesen. Der Apparat ward darauf wieder in Gang gesetzt und jedes Mal nach Verlauf einer Stunde der Versuch wiederholt. Ich erhielt hierdurch folgende Zahlen:

Nach Stunden.	Zahl der Oscillationen	
	in 2 Minuten.	pro Secunde.
0		
1	7231	60,25
2	7250	60,41
3	7215	60,12
4	7211	60,08

Die kleinen Abweichungen erklären sich hinreichend durch die Schwierigkeit, die Herstellung und Unterbrechung des Stromes genau in dem Momente eintreten zu lassen, in dem man die Uhr hört, ferner aus Stromschwankungen und der nicht ganz constanten Arbeit, welche das Werk vollführen musste, um das Rad und den Zähler zu bewegen. Ich liess daher bei den späteren Messungen beide ganz fort, und überzeugte mich auf eine andere, später zu beschreibende Art von der Gleichförmigkeit der Bewegung der Wippe.

Das benutzte Galvanometer ist eine sorgfältig gearbeitete Sinusbussole mit einem Prismafernrohr von dreifacher Vergrösserung, durch welches ich die Nadel mit grosser Genauigkeit bis auf $^1/_{10}{}^0$ auf den Theilstrich der Nulllinie einstellen konnte. Durch einen fünftheiligen Nonius konnte ich $^1/_5$ Grade ablesen und $^1/_{10}$ Grade schätzen. Der

Multiplicator ist mit zwei Drähten bewickelt, deren Enden an isolirten Klemmen befestigt sind, so dass ich sie parallel, einzeln oder hintereinander einschalten konnte. Das Galvanometer war durch Klötze von gehärtetem Kautschuk gut isolirt, sorgfältig horizontal gestellt, und die Aufhängung des Fadens in die Drehaxe gebracht. Zur Beseitigung der geringen Excentricität der Theilung machte ich in der Regel bei jedem Versuch zwei Ablenkungen mit umgekehrter Stromrichtung, und nahm das Mittel. Bei Anwendung astatischer Nadeln, denen ich immer hinlängliche Richtkraft liess, ward ausserdem noch nach jeder Ablesung die Ruhestellung controlirt. Die Umkehrung des Stromes geschah durch einen neben dem Instrumente befindlichen Commutator. Ein zweiter, bei der Batterie befindlicher Commutator gestattete schnell die Stromleitung so umzuschalten, dass der durch das isolirende Material etwa hindurchgehende Strom direct durch das Galvanometer ging. Die Batterien, welche ich benutzte, bestanden ausschliesslich aus Daniell'-schen Elementen. Dieselben wurden jeden zweiten Tag neu gefüllt, und erhielten sich dann im Laufe eines Tages hinlänglich constant. Zu vergleichende Versuche stellte ich immer kurz nach einander an. Bei Beginn und am Schlusse einer jeden Versuchsreihe notirte ich die Ablenkung der Nadel durch die continuirliche Entladung einer Maassflasche. Blieb dieselbe nicht unverändert, so wurden die dazwischen ausgeführten Versuche wiederholt. Es diente dies zur Versicherung, dass in den Instrumenten und Batterien keine Veränderung eingetreten war. Ausserdem gab dies Verfahren ein Mittel, die Beobachtung verschiedener Zeitperioden zu vergleichen, von dem ich jedoch nur selten Gebrauch gemacht habe. In den nachstehenden Versuchstabellen bedeuten die Zahlen der ersten mit n bezeichneten Columne durchgehends die Zahl der benutzten Zellen. In den ersten Tabellen sind die Ablesungen des Nonius des Theilkreises selbst angegeben. In den späteren ist nur die halbe Differenz der beiden Ablesungen angegeben. Der Sinus dieses Winkels ist proportional der Menge der Elektricität, welche in der Zeiteinheit durch das Galvanometer gegangen ist, mithin bei constantem Gange der elektromagnetischen Wippe auch proportional der Grösse jeder einzelnen Ladung oder Entladung, vorausgesetzt, dass die Magnetisirung der Nadeln keine Aenderung erleidet.

Die zu diesen Messungen benutzten Stromleitungen sind Fig. 12, 13 und 14 dargestellt. a und b sind die Belegungen der Flasche oder des Condensators, deren Ladung geprüft werden sollte, c ist die oscillirende Zunge der Wippe, d und e die isolirten Contactanschläge derselben, f das Galvanometer, g die Batterie. War der Commutator so gestellt, dass Schema 1 erfüllt war, so war das Galvanometer mit der Batterie direct zwischen die Condensatorplatten oder die Belegungen der Flasche eingeschaltet, die geringste Unvollkommenheit der Isolation musste sich daher zeigen. Die Commutatorstellung 2 leitet alle Ladungs-,

die Stellung 3 alle Entladungsströme durch das Galvanometer. Da sich bei der ersten Versuchsreihe die vollständige Gleichheit der Ladungs- und Entladungsströme herausstellte, wenn die Isolation vollkommen war, so benutzte ich später gewöhnlich nur das Entladungsschema (3).

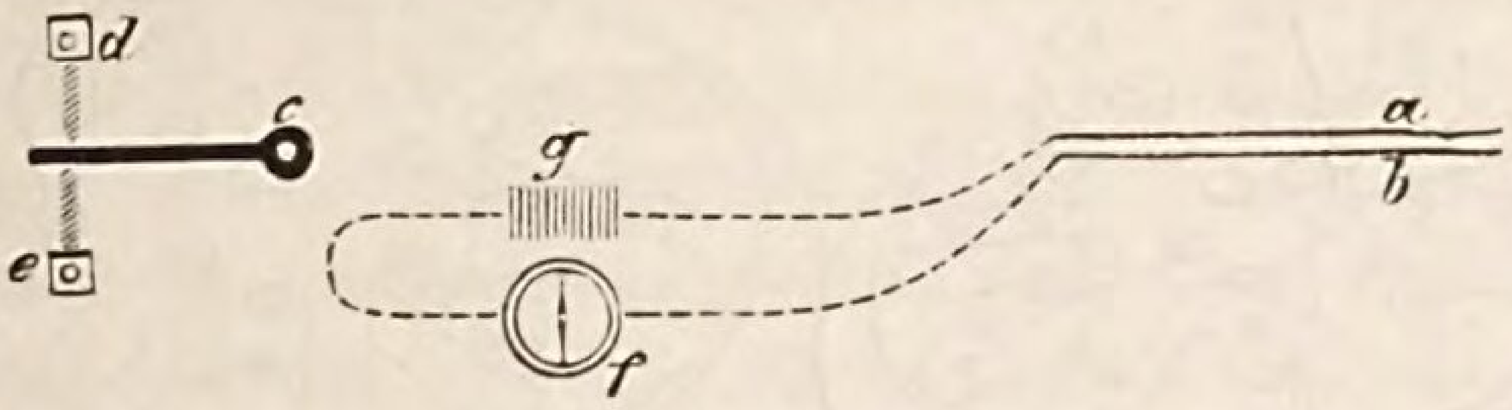


Fig. 12.

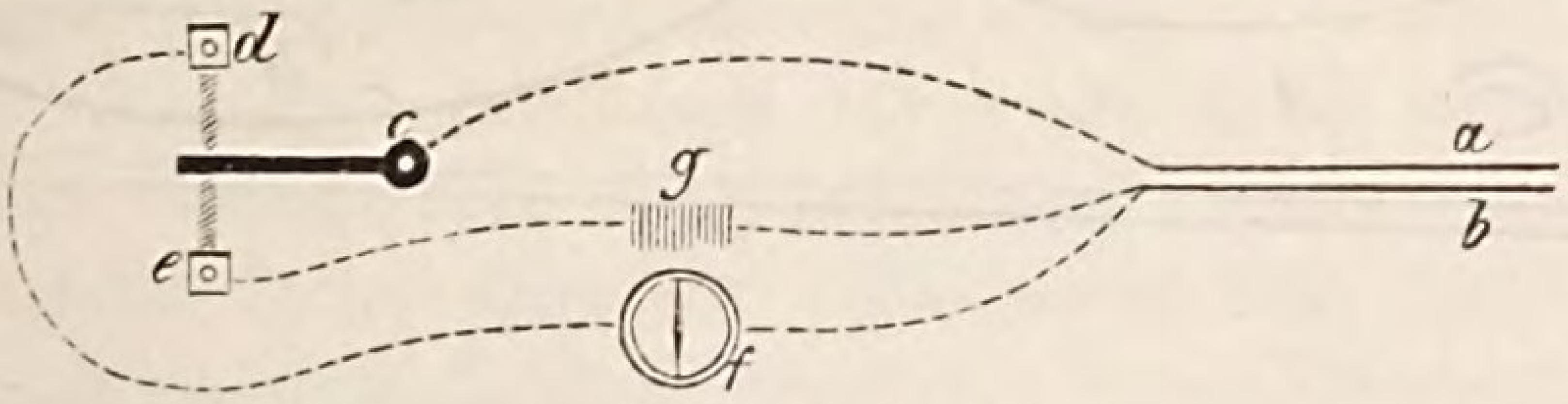


Fig. 13.

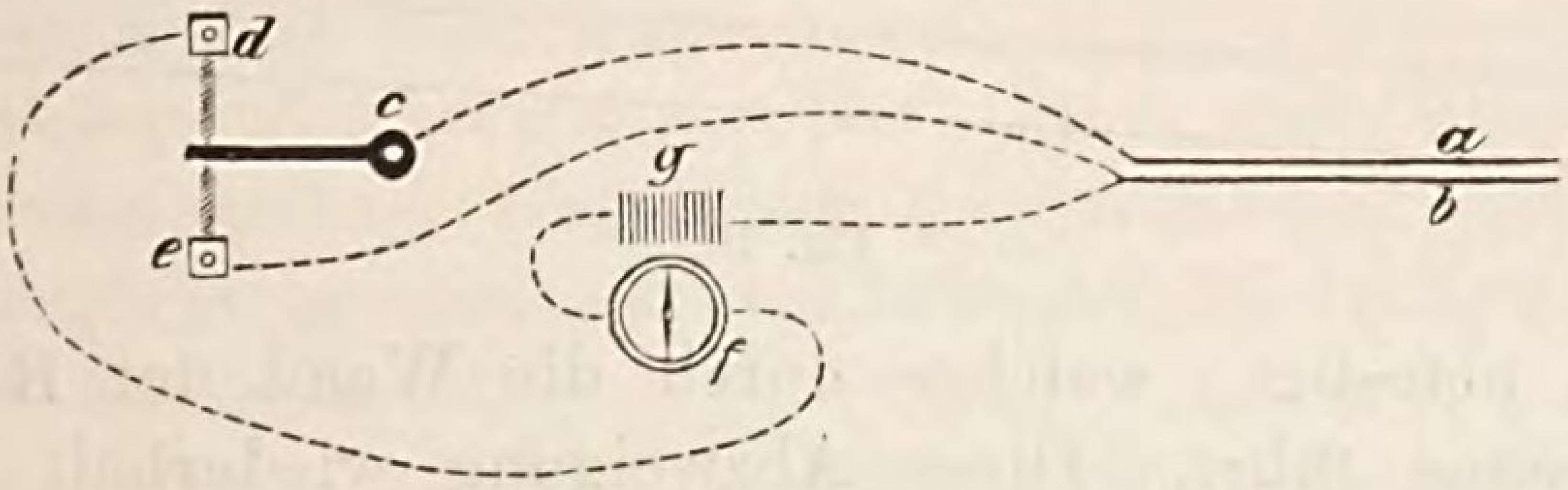


Fig. 14.

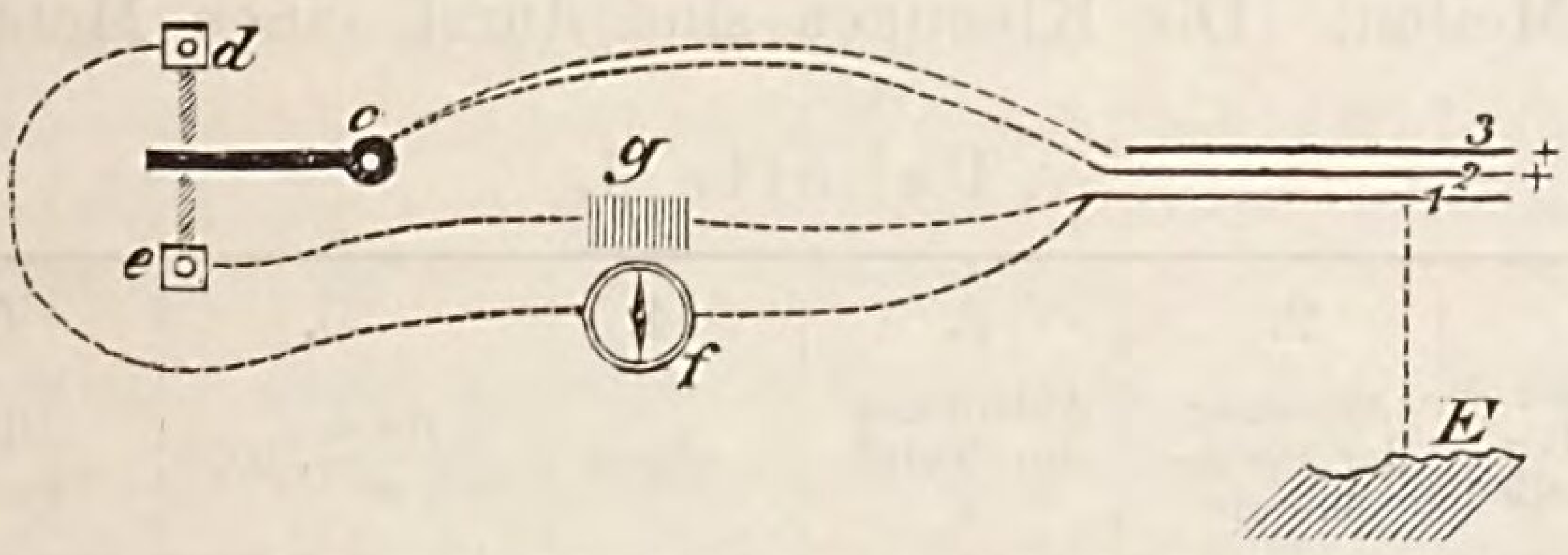


Fig. 15.

Der bei den nachstehenden Versuchen benutzte Condensator bestand aus einem 0,98 □dm grossen, 0,1 mm dicken Glimmerblatte, welches auf beiden Seiten mit Stanniol so bekleidet war, dass der Rand etwa 5 mm breit unbelegt blieb. Der Condensator lag auf einer isolirten Metallplatte, welche mit der Zunge der Wippe leitend verbunden war. Die obere Belegung war durch einen isolirten Draht mit der Batterie und dem Galvanometer der Art leitend verbunden, dass die Berührungsstelle sich beliebig verschieben liess. Ferner konnte ich einen zu dem Gasleitungsrohr führenden Draht beliebig mit der einen oder der andern Belegung verbinden. In den von der Belegung *a* zur Wippe *c* führenden Draht war ein Rheostat eingeschaltet. Derselbe ist Fig. 16 besonders abgebildet. Er besteht aus einem mit Seide be-

sponnenen dünnen Neusilberdraht, welcher auf zwei Rollen *A* und *B* gewickelt ist. Nachdem bei der kleinen Rolle *A* eine deutsche Meile Widerstand, auf zwei englische Linien dicken Eisendraht reducirt, bei der grossen 10 Meilen Widerstand aufgewickelt sind, ist ein Zweig-

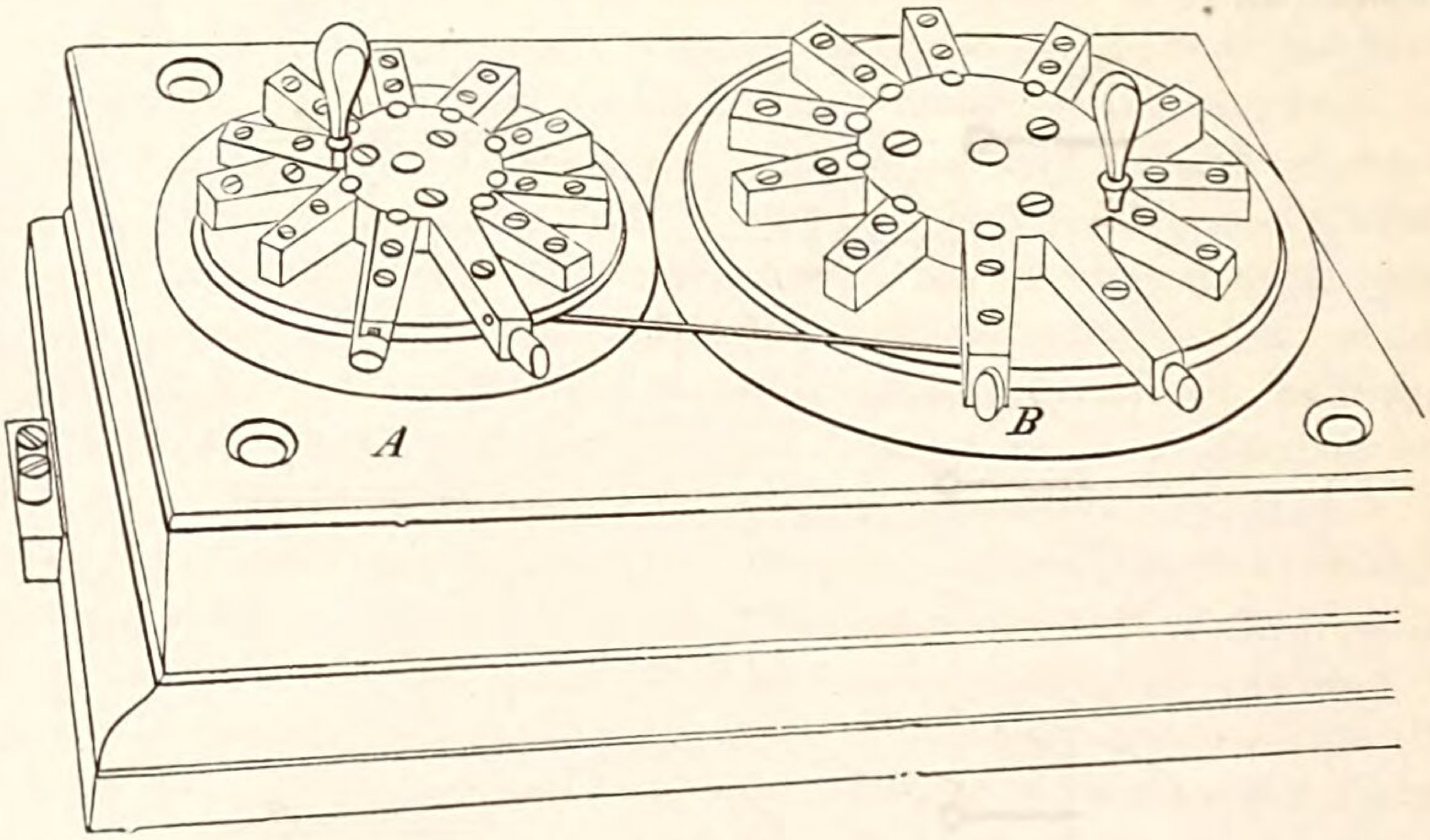


Fig. 16.

draht an ihm befestigt, welcher durch die Wand der Rolle hindurch zu einer Klemme führt. Diese Abzweigung wiederholt sich bei der kleinen Rolle nach fernerer Aufwickelung einer Meile, bei der grossen nach je 10 Meilen. Die Klemmen sind durch einen Metallstöpsel be-

Tabelle I.

1. Zahl der Daniell'-schen Zellen n	2. Ablesung der Sinus-bussole	3. Ablenkung der Nadel α	4. $\sin \alpha$	5. $\frac{\sin \alpha}{n} \cdot 100$	6. Differenzen
0	277,4				
3	282,5	5,1	0,0889	29	+ 0,7
4	284,1	6,7	0,1166	29	+ 0,7
5	285,7	8,3	0,1443	29	+ 0,7
6	287,3	9,9	0,1719	28	— 0,3
0	277,4				
7	288,9	11,5	1,1994	28	— 0,3
8	290,6	13,2	0,2283	28	— 0,3
9	292,4	15,0	0,2588	28	— 0,3
7	289,0	11,6	0,2010	29	— 0,7
3	282,6	5,2	0,0906	30	+ 1,7
0	277,4				
18	307,2	29,8	0,4970	27	— 1,3
12	296,7	19,3	0,3004	27	— 1,3
12	296,9	19,5	0,3338	28	— 0,3
21	311,7	34,3	0,5635	27	— 1,3
3	282,6	5,2	0,0906	30	+ 1,7

liebig mit dem einen Drahte der Stromleitung in Verbindung zu setzen, deren anderes Ende mit dem Anfang des isolirten Drahtes dauernd verbunden ist. Man konnte hierdurch leicht 1 bis 99 Meilen Widerstand in die Leitung einschalten.

Bei Anstellung jedes Versuches dieser Tabelle ward, nachdem die Nadel durch Drehung des Galvanometers wieder auf Null zurückgeführt war, der ganze Widerstand von 99 Meilen eingeschaltet und der Stand der Nadel wieder beobachtet. Darauf ward die Leitung mit der Gasleitung in leitende Verbindung gebracht, und dann der die andere Bewegung berührende Draht von der Mitte bis zur äussersten Kante der Belegung verschoben. Endlich ward die Stromleitung so commutirt, dass anstatt der Entladungs- die Ladungsströme durch das Galvanometer geleitet wurden. Es ergab sich, dass durch alle diese Veränderungen die Ablenkung der Nadel nicht im Mindesten verändert wurde. Aus Columne 4 ergiebt sich, dass die Ablenkung der Nadel proportional der Zahl der benutzten Zellen, mithin der elektromotorischen Kraft der Batterie ist. Die kleine Verminderung der berechneten Werthe für die Ablenkung durch ein Element mit der Verstärkung der Batterie blieb bei späteren Versuchsreihen fort, wenn das Mittel zweier Ablesungen mit umgekehrter Stromrichtung genommen ward, ist mithin als Fehler des Instrumentes zu betrachten. Es lassen sich hieraus folgende Schlüsse ziehen:

1. „Die Ladung eines Condensators oder die Quantität der auf seinen Flächen angesammelten Elektricität ist proportional der elektromotorischen Kraft der Batterie."
2. „Sie ist unabhängig von dem Widerstande der Zuleitungsdrähte, und unabhängig von der Lage des Orts, wo der Zuleitungsdraht die Belegung des Condensators berührt."
3. „Sie wird durch ableitende Berührung eines Batteriepols oder einer der beiden Belegungen nicht geändert."

Die erste dieser Schlussfolgerungen bedarf keines weiteren Commentars. Es war zu erwarten und dem Verhalten der Reibungselektricität analog, dass die Ladung eines Condensators der elektrischen Kraft der Batterie oder der Dichtigkeit der Elektricität der unerschöpflichen Quelle, durch welche er geladen wird, proportional ist. Die zweite besagt noch, dass die Dauer der einzelnen Ladungen oder Entladungen in diesem Falle geringer war, als etwa $^1/_{120}$ Secunde, d. i. die Dauer einer halben Oscillation der Wippe und zwar auch dann noch, wenn die Ladungszeit durch Einschaltung des Widerstandes von 99 Meilen beträchtlich verlangsamt war. Die dritte bietet eben so wenig etwas Unerwartetes; dagegen war es mir sehr überraschend, dass die Lage des Berührungspunktes des Zuleitungsdrahtes mit der isolirten Condensatorplatte ohne allen Einfluss auf die Grösse der Ablenkung der Nadel war. Es schien mir im Gegentheil wahrscheinlich, dass die Ladung

am grössten sein würde, wenn man die Mitte der Belegung mit dem Zuleitungsdraht berührte, und dass sie um so kleiner werden würde, je mehr man die Berührungsstelle zum Rande hin verschöbe. Dies war jedoch durchaus nicht der Fall. Der Stand der Nadel blieb durchaus unversehrt, so lange der Zuleitungsdraht nur in Berührung mit der Belegung war, selbst dann, wenn nur eine der äussersten Spitzen der rechteckigen Stanniolbelegung in Berührung mit ihm war. Ich habe diesen Versuch mannigfach variirt, mit Condensatoren und Leydener Flaschen der verschiedensten Form und Grösse, aber immer mit ganz demselben Erfolge. Für den Fortgang meiner Untersuchung war dies Resultat, d. i. die Unabhängigkeit der Ladung eines Ansammlungs-Apparates von der Anbringung der Zuleitungsdrähte sehr wichtig, indem die Experimente durch Wegfall dieser Rücksicht viel einfacher und zuverlässiger wurden.

Die Betrachtung der obigen Versuchsreihe beseitigt gleichzeitig manche Bedenken, die man gegen die Zuverlässigkeit meiner Untersuchungsmethode aufstellen konnte. Eine der wichtigsten dürfte wohl diese sein, ob sich das Magnetisirungsverhältniss der benutzten astatischen Nadeln nicht dauernd, oder auch nur vorübergehend, während der Entladungen verändert. In der That habe ich immer grosse Vorsicht obwalten lassen müssen, um mich vor hieraus entspringenden Fehlern zu sichern. Nur vollkommen glasharte Magnetnadeln aus Gussstahl, welcher sich ganz besonders zur Anfertigung von Stahlmagneten eignet, waren auch bei starken Entladungsströmen hinlänglich constant. Es ergab sich dies sowohl daraus, dass die Schwingungsdauer des Nadelpaars unverändert blieb, wie auch daraus, dass die Ruhelage desselben sich nicht änderte. Wäre eine vorübergehende Aenderung des Magnetisirungszustandes der Nadeln eingetreten, so hätte sich die Ablenkung bei Einschaltung eines beträchtlichen Widerstandes in dem Kreise des Galvanometers verändern müssen. Bei sehr starken Batterien und sehr schwachen Ansammlungsapparaten habe ich in der That diese Erscheinung beobachtet, wenn der Entladungsstrom nur den Widerstand des Galvanometerdrahtes zu überwinden hatte. Da sich die Schwingungsdauer und die Stellung der Nadeln hierbei nicht verändert hatten, so muss man annehmen, dass die Stromstärke zwar ausreichend war, um den Magnetismus der Nadeln, namentlich den der inneren zu ändern, dass die Dauer des Stromes aber nicht gross genug war, um diese veränderte Magnetisirung zu fixiren. Dass die Dauer des magnetisirenden Stromes von wesentlichem Einfluss auf die Grösse des bleibenden Magnetismus ist, ist eine bekannte Thatsache. Es ist daher wohl denkbar, dass ein heftiger Strom von sehr kurzer Dauer, wie der Entladungsstrom einer Leydener Flasche, den Magnetismus einer Nadel momentan vollständig vernichten oder umkehren kann, dass mithin auch die elektromagnetische Wirkung dieses Stromes auf die Nadel nicht

im erwarteten Masse oder gar nicht eintritt, dass aber dennoch die bleibende Magnetisirung der Nadeln sich gar nicht oder wenig geändert zeigt, wenn der Entladungsstrom aufgehört hat. Es deutet dies darauf hin, dass harter Stahl sich hinsichtlich seiner magnetischen Coërcitivkraft ähnlich verhält, wie unvollkommen elastische Körper bei Strömen von sehr kurzer Dauer. Um gegen derartige Störungen der Messungen ganz gesichert zu sein, habe ich später stets den Widerstand von 99 Meilen in den Kreis des Galvanometers eingeschaltet, und ausserdem die Belegungen einer Batterie von 9 Leydener Flaschen oder eines anderen Ansammlungsapparates von beträchtlich grosser Capacität mit den Galvanometerdrähten verbunden. Es musste sich dann die zu messende Ladung erst auf die Belegungen dieses Ansammlungsapparates ausbreiten, bevor sie die Widerstandsrolle und den Galvanometerdraht durchlief. Der Entladungsstrom enthielt mithin grössere Dauer und entsprechend geringere Intensität. Auf die Grösse der Ablenkung der Nadel ist weder die Anbringung eines solchen Reservoirs am Galvanometerdraht, noch die Einschaltung eines Widerstandes in denselben von Einfluss, da die Entladungszeit immer noch wesentlich kleiner ist, als die Dauer einer Oscillation der Wippe.

Aus der Unabhängigkeit der Ablenkung der Nadel von der Grösse des eingeschalteten Widerstandes könnte man leicht schliessen, dass die Beschaffenheit und Lage der Zuleitungsdrähte ganz ohne Einfluss wäre. Dies ist jedoch nur in Bezug auf die vom Ansammlungsapparat zu dem Galvanometer, nicht hinsichtlich der von der Batterie zur Wippe und zum Ansammlungsapparat führenden Drähte der Fall. Die letzteren bilden selbst einen Ansammlungsapparat, wie später noch weiter erörtert werden wird, dessen Ladungsstrom ebenfalls durch das Galvanometer geht und die Nadeln ablenkt. Ich änderte daher meine erste Disposition dahin ab, dass ich Wippe und Ansammlungsapparat ganz in die Nähe der Batterie stellte, und mich bei Versuchen mit sehr empfindlichen Nadeln vor Beginn derselben stets durch Ausschliessung des benutzten Ansammlungsapparates von der Wirkung der Zuleitungsdrähte allein überzeugte und sie eventuell in Rechnung brachte. Auf die Grösse der Ladung des Ansammlungsapparates selbst ist die Länge und Form der Zuleitungsdrähte dagegen ganz ohne Einfluss. Wenn ich die Ladung eines beliebigen Ansammlungsapparates mit kurzen Zuleitungsdrähten mass und darauf einen frei zwischen den Gebäuden des Hofes ausgespannten Kupferdraht von 1 mm Dicke und 50 m Länge als Batteriedraht benutzte, so vermehrte sich die gemessene Ladung ganz unabhängig von der Capacität des Ansammlungsapparates bei unveränderter Batterie um eine constante Grösse, die genau mit der Ladung des Zuleitungsdrahtes allein übereinstimmte.

Zur weiteren Controle der Zuverlässigkeit meiner Untersuchungsmethode und um gleichzeitig der von mir gemachten Annahme, dass die Ladung eines jeden Punktes der Oberfläche eines abgeleiteten Flaschen-

drahtes proportional der, nach dem Ohm'schen elektroskopischen Gesetz, diesem Punkte zugehörigen elektrischen Kraft oder Dichtigkeit sei, auch experimentell nachzuweisen, stellte ich die nachfolgende Versuchsreihe an.

Tabelle II.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Zahl d. Zellen n	w	w'	Ablesung	α	sin α = Q beobachtet	berechnet	Differenzen
8	200	800	305,6 256,0	24,8	0,4193	0,424	+ 0,006
8	300	700	258,8 305,5	22,3	0,3794	0,371	— 0,008
8	400	600	299,6 262,4	18,6	0,3189	0,318	0
8	500	500	265,4 296,2	15,4	0,2655	0,265	0
8	600	400	268,8 294,0	12,6	0,2180	0,212	— 0,006
8	800	200	275,6 287,6	6,0	0,1045	0,106	+ 0,002

Die hierbei benutzte Stromleitung ist in Fig. 17 dargestellt. Der mit w und w' bezeichnete Kreis stellt die Drahtleitung dar. In denselben ist die Batterie B dauernd eingeschaltet. Die Zunge der Wippe A ist mit dem Knopfe einer Leydener Flasche C, der eine Contact der Wippe mit dem Galvanometer D in leitender Verbindung. Der

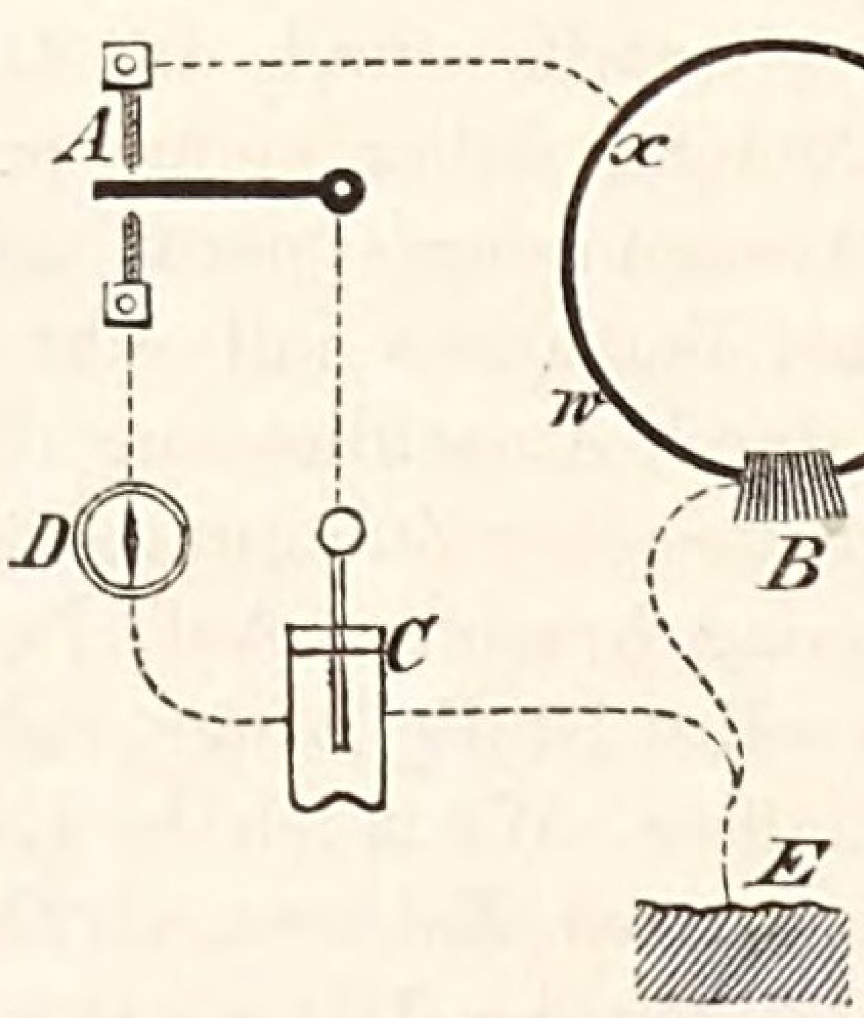


Fig. 17.

andere Galvanometerdraht, die äussere Belegung der Flasche und der eine Batteriepol sind unter sich und mit dem Erdboden leitend verbunden. Der mit dem anderen Contacte der Wippe verbundene Draht wird an den Punkt des Kreises geführt, dessen „elektroskopische Kraft" gemessen werden soll. Ist E die elektromotorische Kraft der Batterie, so ist nach dem Ohm'schen Spannungsgesetze die elektrische

Kraft $x = C \cdot \frac{w'}{w + w'}$, wenn w und w' die Widerstände von dem Punkte des Drahtes, an welchem x gemessen werden soll, bis zur Batterie bezeichnen. Ich benutzte als Prüfungsdraht eine aus übersponnenem Neusilberdraht aufgewickelte Widerstandsrolle, deren Widerstand ziemlich genau in 10 Theile getheilt war, von denen jeder dem Widerstande einer Telegraphenleitung aus 2 mm dicken Eisendraht von 100 russischen Werst Länge entsprach. Columne 1 giebt die Zahl der Zellen, Columne 2 und 3 die Widerstände w und w', 4 die Ablesungen des Theilkreises der Sinusbussole, 5 die halbe Differenz derselben, mithin den gemessenen Ablenkungswinkel α, 6 den Sinus dieser Winkel, welcher die Grösse der Ladung der Flaschen, mithin der Dichtigkeit x entspricht. Columne 7 giebt die nach der Formel berechneten Werthe. Die Constante ist für jede Messung berechnet und von allen das Mittel genommen. Sie ist gleich 0,53. Die hinreichende Uebereinstimmung der beobachteten Werthe beweist die Richtigkeit meiner Voraussetzung und wird gleichzeitig das Zutrauen zu der benutzten Messungsmethode erhöhen.

Ich ging nun dazu über, die Abhängigkeit der Ladungsgrösse, von der Form und Grösse der Ansammlungsapparate zu bestimmen.

Die nachstehende Versuchsreihe ist mit einer elektrischen Batterie von 9 Flaschen angestellt, von denen jede 13 □dcm innere Belegung und 4 mm durchschnittliche Glasstärke hatte. n bezeichnet die Anzahl der benutzten Daniell'schen Zellen, s die Anzahl der Flaschen, α den gemessenen Ablenkungswinkel.

Tabelle III.

Anzahl der benutzten Elemente n	Anzahl der Flaschen s	Ablenkung der Nadel α	$\sin \alpha$	$\frac{\sin \alpha}{n \cdot s}$
8	9	32,2	0,5328	0,074
8	8	27,5	0,4630	0,072
8	7	24,4	0,4130	0,073
8	6	20,8	0,3550	0,073
8	5	16,4	0,2823	0,070
8	4	13,2	0,2283	0,071
8	3	10,0	0,1736	0,072
16	3	20,7	0,3534	0,073
18	5	42,3	0,6729	0,074

Die hinreichend constanten Zahlenwerthe der letzten Columne zeigen, dass die Ladung einer aus mehreren Flaschen zusammengesetzten Batterie sich wie die Producte aus der Anzahl der Flaschen in die elektromotorische Kraft der Kette verhält, wie zu erwarten war. Wenn

ich die Flaschen in einer Reihe neben einander stellte, anstatt in drei Reihen nach gewöhnlicher Art dicht neben einander, so änderte sich die Grösse der Ladung dadurch nicht im Geringsten. Es war dies eine Bestätigung der schon früher nachgewiesenen Unabhängigkeit der Ladung von der Anbringung und Form der Zuleitungsdrähte, und machte es mir noch wahrscheinlicher, dass bei Elektricität niedriger Spannung die Capacität der Ansammlungsapparate nur von der Flächengrösse — bei unveränderter Dicke und Beschaffenheit und Form des isolirenden Materials abhängig wäre. Ich habe die bedingte Richtigkeit dieser Annahme vielfach erprobt und überall bestätigt gefunden. Um Wiederholungen zu vermeiden, verschiebe ich jedoch den experimentellen Nachweis dieses Satzes, da die darüber angestellten Versuche gleichzeitig später zu erörternde Fragen beantworten.

Zur Untersuchung des Einflusses der Dicke der isolirenden, die beiden parallelen Belegungen eines Condensators trennenden Schichten liess ich mir mehrere, möglichst parallel geschliffene 1 mm dicke Glasplatten, welche sämmtlich 0,26 m lang und 0,21 m breit waren, anfertigen. Ich überzeugte mich von der hinlänglich gleichmässigen Dicke dieser Platten durch einen Fühlhebel, welcher mit Schärfe $^1/_{100}$ mm angab. Zwei solche Platten wurden mit zwei einander genau gegenüberstehenden 0,34 m langen und 0,18 m breiten Stanniolbelegungen versehen. Die gemessene Ladung ergab für beide ziemlich genau dieselbe Capacität. Es wurden nun zwei andere Platten nur auf einer Seite mit einer Stanniolbelegung von obigen Dimensionen versehen. Eine solche einseitig belegte Platte ward auf etwa 6″ hohe isolirende Stützen gelegt und ihre Belegung mit der Zunge der Wippe verbunden. Ward nun ein Batteriepol in leitende Verbindung mit der einen, ein Galvanometerdraht mit der zweiten Contactschraube der Wippe gesetzt, so wurde die Nadel abgelenkt, und die Grösse der Ablenkung war der Zahl der Zellen der benutzten Kette proportional. Die Ablenkung verminderte sich, wenn die Glasplatte möglichst frei in der Mitte des Zimmers gehalten wurde, und verstärkte sich um so mehr, je mehr man dieselbe den Wänden des Zimmers näherte. Mit einem sehr empfindlichen Nadelpaare und einer Batterie von 54 Daniell'schen Elementen konnte ich dieselbe Erscheinung fast an jedem isolirten Leiter nachweisen, welchen ich in leitende Verbindung mit der oscillirenden Zunge der Wippe brachte, ich war mithin im Stande, die sogenannte freie Elektricität, welche durch die elektrische Spannung des isolirten Batteriepols auf der Oberfläche eines beliebigen Conductors angehäuft wird, durch das Galvanometer zu messen und mit der Flaschen-Elektricität quantitativ zu vergleichen. Der wesentliche Einfluss der grösseren oder geringeren Nähe der Zimmerwände auf die Quantität dieser freien Elektricität machte es mir jetzt schon sehr wahrscheinlich, dass dieselbe lediglich eine Ladung zwischen dem Conductor und den leitenden

Wänden des Zimmers ist, in welchem er sich befindet — wie Faraday es bekanntlich annahm.

Die Ladung eines Conductors besteht nun offenbar aus zwei Theilen, der Ladung zwischen der isolirten Belegung und den Zimmerwänden und der zwischen der isolirten und nicht isolirten Belegung. Das Galvanometer misst die Summe beider. Um die letztere zu finden, verfuhr ich daher so, dass ich erst die freie Elektricität der isolirten Belegung ermittelte und darauf die Gesammtladung, indem die zweite Belegung, welche bisher isolirt war, mit der Erde leitend verbunden wurde. Von dieser Gesammtladung war die Hälfte der Ladung der isolirten Belegung in Abzug gebracht. Dass nur die Hälfte in Abzug zu bringen ist, ergiebt sich jetzt schon aus der Betrachtung, dass man die abgeleitete Belegung sich so dick denken kann, dass sie die Zimmerwand erreicht, ohne dass dadurch die Ladung vermehrt werden kann. Es bleibt also nur die Ladungsgrösse der abgewendeten Seite der isolirten Belegung mit den Zimmerwänden zu berücksichtigen.

Zur Erläuterung der nachstehenden Versuchsreihe mit 7 Glasplatten von 1 mm Dicke bemerke ich noch, dass die wohlgereinigten Platten mit rectificirtem Terpentinöl benetzt und darauf auf einander gerieben wurden, um die adhärirende Luft zu beseitigen. Die so vereinigten Platten wurden zwischen zwei Platten aus vulkanisirtem Kautschuk gelegt, und mit einer zehn Pfund schweren Metallplatte belastet. Zur Bestimmung der Ladung zwischen den Belegungen einer einzelnen Glasplatte wurde dieselbe mit einer zweiten, auf gewöhnliche Weise auf dem Glase befestigten Belegung versehen.

Tabelle IV.

1. Plattenzahl m	2. α	3. $\sin\alpha$	4. $\sin\alpha - \frac{\sin 0.5^0}{2}$	5. $\left[\sin\alpha - \frac{\sin 0.5^0}{2}\right] m$	6. Differenzen
I	35,8	0,5850	0,5807	0,58	— 0,02
II	17,3	0,2974	0,2931	0,58	— 0,02
III	11,8	0,2044	0,2001	0,60	0,00
IV	8,9	0,1547	0,1504	0,60	0,00
V	7,1	0,1221	0,1178	0,59	— 0,01
VI	6,2	0,1079	0,1036	0,62	+ 0,02
VII	5,5	0,0958	0,0915	0,64	+ 0,0

Die erste Columne der obigen Tabelle giebt die Zahl m der Glasplatten an, welche zwischen den vertheilend auf einander wirkenden Belegungen sich befanden, α ist der gemessene Ablenkungswinkel der Sinusbussole. Eine einzelne, isolirte Belegung gab die Ablenkung 0,5. Wie schon erläutert, musste die Hälfte des Sinus dieses Winkels von $\sin\alpha$ abgezogen werden. Columne 5 ergiebt, dass die Ladung umgekehrt proportional der Anzahl der Glasplatten, mithin der Dicke der

isolirenden Schicht ist. Die Differenzen übersteigen die Grenze der mit den benutzten Hülfsmitteln zu erreichenden Genauigkeit nicht. Die geringe Vergrösserung derselben bei dickerem Glase deutet jedoch auf eine Verstärkung der Ladung der Kanten der Belegungen hin, wie sie eintreten muss, wenn die Molecularvertheilung nach Faraday's Annahme vorhanden ist.

Die nachfolgende Versuchsreihe wurde mit 6 Platten aus möglichst gleichförmig gewalzter Guttapercha angestellt, welche mit Stanniolbelegungen auf beiden Seiten versehen waren. Diese Platten wurden so aufeinander geschichtet, dass die sämmtlichen Stanniolbelegungen genau übereinander lagen. Zwischen je zwei Platten ward ein hervorragender Streifen Stanniol gelegt, welcher dazu diente, die leitende Verbindung mit den betreffenden Belegungen herzustellen. Durch eine Handpresse wurden die Platten darauf fest zwischen zwei ebenen Brettern und elastischen Kautschukplatten zusammengepresst, und in diesem Zustande die Messungen vorgenommen. Es ward zuerst die Ladung zwischen je zwei benachbarten Belegungen gemessen und darauf die Ladung zwischen der ersten und allen übrigen der Reihe nach.

Tabelle V.

No. der belegten Guttapercha-Platten	1	2	3	4	5	6
Ablenkung der Nadel . .	19,5	19,5	19,3	19,9	19,1	18,3

Tabelle VI.

Ladung zwischen d. Belegungen m	α	$\sin\alpha$	$\sin\alpha - \frac{\sin 0.9}{2}$	$\left[\sin\alpha - \frac{\sin 0.9}{2}\right]m$	Differenzen
1 u. 2	19,8	0,3386	0,3308	0,33	— 0,05
1 u. 3	10,9	0,1891	0,1813	0,36	— 0,02
1 u. 4	7,5	0,1305	0,1227	0,37	— 0,01
1 u. 5	6,5	0,1045	0,0976	0,38	+ 0,01
1 u. 6	5,0	0,0872	0,0794	0,40	+ 0,02
1 u. 7	4,3	0,0750	0,0672	0,40	+ 0,02

Aus der ersten Tabelle (V) ergiebt sich, dass die Capacität der aus 6 Guttapercha-Platten gebildeten Ansammlungsapparate ziemlich gleich war. Nur die sechste Platte gab eine bemerkenswerth geringere Ladung. Die gemessene Ladung einer einzelnen Belegung gab $0,9^0$, es ward daher in Tabelle VI $\frac{\sin 0,9}{2}$ vom Sinus des gemessenen Winkels α abgezogen. In der vorletzten Columne sind die Producte dieses berichtigten Masses der Ladung mit der Zahl der zwischen den wirksamen Belegungen befindlichen Guttapercha-Platten, und in der letzten

Columne ihre Differenzen verzeichnet. Es stellt sich hier noch deutlicher, wie bei den Versuchen mit Glasplatten eine geringe Vermehrung der Differenzen mit dem Abstande der Condensatorplatten heraus, welche sich durch Molecularwirkung der elektrostatischen Induction in krummen Linien zwischen den Kanten der Belegungen vollständig erklärt.

Eine der wichtigsten Fragen, deren Beantwortung auch die Frage der Existenz der Vertheilung in krummen Linien entscheidet, ist die des Einflusses der isolirenden Materie, welche den die beiden Condensatorplatten trennenden Raum erfüllt, auf die Grösse der elektrostatischen Induction. Dass die Capacität eines Ansammlungsapparates wesentlich von dem Stoff des trennenden Isolators abhängig ist, ist durch Faraday's auch anderweitig bestätigte Untersuchungen ausser Zweifel gesetzt. Dagegen entschieden die bisherigen Versuche nicht darüber, ob die von Faraday aufgestellte Ansicht, dass die elektrostatische Induction ausschliesslich eine von Molecül zu Molecül des trennenden Isolators fortgepflanzte Wirkung ist, richtig ist, oder ob vielmehr der Einfluss des isolirenden Materials ein secundärer ist, vielleicht auch directe Vertheilung und Molecularvertheilung gleichzeitig auftreten. Dass in der That ein Eindringen der Elektricität der Belegungen einer Leydener Flasche in die Substanz des Glases stattfindet und dadurch die Entfernung der sich gegenseitig anziehenden Elektricitäten von einander vermindert wird, ist vielfach nachgewiesen, und folgt auch schon daraus, dass eine vollständig entladene Flasche, die vorher längere Zeit geladen war, sich nach kurzer Zeit wiederum geladen zeigt. Es fragt sich daher, ob:

1. der Einfluss des den trennenden Raum erfüllenden isolirenden Materials sich auch dann noch zeigt, wenn das Eindringen der Elektricität in die Masse desselben verhindert, oder der Versuch so angestellt ist, dass es auf das Resultat der Messung keinen Einfluss äussern kann; ferner, wenn dies der Fall ist, ob:

2. die elektrostatische Induction überall dem Gesetze der Molecularanziehung, oder ganz oder theilweise dem der Anziehung in Distanz folgt.

Versuche mit Volta-Elektricität scheinen mir besonders geeignet zur Beantwortung dieser Fragen, da sie eine stets constante und unerschöpfliche Elektricitätsquelle darbietet, durch welche alle Messungen sehr vereinfacht werden. Die bisher beschriebenen Versuche werden dies, so wie auch die Zuverlässigkeit der Angaben des Galvanometers, wohl überzeugend nachgewiesen haben.

Dass auch bei Volta-Elektricität die Capacität eines Ansammlungsapparates wesentlich von der Beschaffenheit des Isolators, welcher den die Collectorplatten trennenden Raum erfüllt, abhängt, war leicht zu erkennen.

Wenn ich zwei runde, 15 cm im Durchmesser haltende ebene Scheiben durch eine Glasplatte von 1 mm Dicke trennte, so zeigte das Galvanometer eine nahe doppelt so grosse Ladung an, wie dann, wenn ich anstatt der Glasplatte kleine Glasstücke von gleicher Dicke zwischen die Scheiben legte. Diese Verstärkung der Ladung trat in gleichem Grade bei Anwendung starker und schwacher Ketten auf, war also unabhängig von der wirksamen elektrischen Kraft[1]) der Batterie.

Da die Tiefe des etwaigen Eindringens der Elektricität in der durch die Wippe gegebenen Zeit jedenfalls von der Grösse der wirksamen Kraft abhängig sein müsste, so liess sich hieraus schon der Schluss ziehen, dass in ihr nicht der Grund der beobachteten Vergrösserung der Ladung zu suchen sei. Noch unzweifelhafter tritt dies bei folgendem Versuche hervor.

Ich liess mir eine Leydener Flasche aus zwei in einander gesetzten Glascylindern anfertigen. Der innere war 0,57 m hoch und hatte 0,18 cm inneren Durchmesser. Der äussere war ebenso hoch und hatte 0,20 mm äusseren Durchmesser. Der concentrische Zwischenraum zwischen beiden Cylindern war etwa 15 mm dick. Die Glasstärke jedes Cylinders durchschnittlich 2,45 mm. Die Cylinder wurden mit Colophoniumkitt auf einem Brette befestigt, und der Boden im Innern 1″ hoch mit geschmolzenem Kitt übergossen. Die innere und äussere Fläche des Doppelcylinders wurden mit Stanniol bis auf ½ dm vom oberen und unteren Rande belegt, und die frei gebliebenen Ränder auf gewohnte Weise mit isolirendem Lack überzogen. Es wurde nun die Ladung der Flasche unter sonst gleichen Verhältnissen gemessen, wenn der Raum zwischen den Cylindern mit Luft, und wenn er ganz oder theilweise mit einem anderen isolirenden Material angefüllt war. Fände nun auch ein Eindringen der Elektricität in das Glas statt, durch welches die Ladung merklich vergrössert würde, so könnte doch dies Eindringen unmöglich den in der Mitte des dicken und schon bei einfacher Glasstärke isolirenden Glases befindlichen Isolator erreichen. Demohngeachtet ergab sich eine beträchtliche Vermehrung der Ladung, wenn ein fester Isolator z. B. ein Cylinder von Kautschuk oder vollständig isolirender Guttapercha zwischen die Glaswände geschoben ward. Man kann diesen sehr entscheidenden Versuch auch einfacher und mit gleichem Erfolge mit zwei Glasplatten anstellen, welche einseitig belegt und in solcher Entfernung von einander aufgestellt sind, dass man eine

[1]) Ich habe vorgezogen, statt „elektromotorische Kraft“ den Ausdruck „elektrische Kraft“ zu gebrauchen, da es sich bei den vorliegenden Versuchen nur um die elektroskopische oder Spannkraft der Elektricität des Batteriepols handelt, nicht wie bei rein galvanischen Erscheinungen um das Resultat dieser Kraft, d. i. den elektrischen Strom. Der Ausdruck Dichtigkeit der Elektricität hat eine wesentlich verschiedene Bedeutung und kann hier nicht benutzt werden.

dritte Glasplatte zwischen sie einschieben kann, ohne den Abstand der Belegungen von einander zu ändern.

Zur Bestimmung des Vertheilungscoëfficienten verschiedener Isolatoren war das beschriebene Verfahren nicht geeignet. Ich erhielt aber ziemlich constante Messungen auf folgende Weise: Zwei ebene runde Messingplatten von 15 cdm Durchmesser wurden genau auf einander geschliffen. Durch drei Schrauben mit feinem Gewinde, welche durch die eine (obere) der Scheiben gingen, liessen sich dieselben beliebig von einander entfernen. Die Enden der Schrauben waren mit eingesprengten Steinen versehen, und hierdurch die Scheiben von einander isolirt. Ich stellte nun diese Scheiben unter den Recipienten einer Luftpumpe. Die untere ward mit dem metallenen Teller der Luftpumpe, die obere mit einem isolirt durch den Teller geführten Draht in leitende Verbindung gesetzt. Nachdem ich nun die Verbindung mit der Wippe hergestellt und die Ablenkung der Nadel beobachtet hatte, pumpte ich die Luft bis auf zwei Linien des Quecksilber-Manometers aus. Der Stand der Nadel veränderte sich dadurch nicht im Geringsten. Eben so wenig war eine Aenderung desselben zu bemerken, wenn der Recipient der Luftpumpe mit Kohlensäure oder Wasserstoffgas gefüllt wurde. Es bestätigt sich dadurch vollkommen, dass „Gase jeder Art und Dichtigkeit ein gleiches Vertheilungsvermögen haben“.

Wie zu erwarten war, änderte sich auch der Stand der Nadel durch Erwärmung der Platten und der sie trennenden Luft nicht, wenn die Erhitzung nicht so weit getrieben wurde, dass die Platten sich verzogen. Ich gab nun den Platten des Condensators durch gleichmässige Drehung der Schrauben einen parallelen Abstand von etwa 1 mm. Es wurde hierauf ein Gefäss mit flachem Boden 1 bis $1^1/_2$" hoch mit dem schmelzbaren Isolator angefüllt, welcher untersucht werden sollte, und die Masse langsam geschmolzen. Nachdem die Oberfläche derselben gut gereinigt war, ward erst die Grösse der Ladung zwischen den beiden Scheiben in der Luft gemessen, und darauf beide nach einander so in die geschmolzene Masse getaucht, dass keine Luftblasen zwischen den Platten blieben. Das Verhältniss der gemessenen Ladungen gab die Vertheilungs-Coëfficienten des geprüften Isolators. — Es ergab sich auf diese Weise für Stearin die Zahl 0,78, für Schwefel 2,9. Nach Erkaltung der Masse wurden diese Zahlen kleiner. Es konnte dies jedoch daher kommen, dass die obere Platte durch die Krystallisation etwas gehoben wurde. Ausserdem kann die für den Vertheilungscoëfficienten des Schwefels gefundene Zahl dadurch etwas grösser ausgefallen sein, dass die Messingplatte sich mit einer dünnen Schicht leitenden Schwefelkupfers überzog.

Mit grösserer Genauigkeit prüfte ich die Vertheilungsfähigkeit der Guttapercha und des Glases. Ich verfuhr dabei folgendermassen. Eine ebene kreisrunde Guttapercha-Platte ward auf die untere Condensator-

platte gelegt, nachdem sie mit drei Löchern versehen war, durch welche die Schrauben der oberen Platte hindurchgingen. Nachdem die letztere nun fest auf die Guttapercha-Platte gedrückt und durch ein 10 Pfund schweres Gewicht belastet war, wurden die Schrauben so lange gedreht, bis ihre Steinspitzen die untere Scheibe berührten. Nachdem die Ablenkung der Nadel beobachtet war, ward die Platte aufgehoben, die Guttapercha-Platte entfernt und darauf die Messung wiederholt. Aehnlich ward mit plangeschliffenen Glasplatten verfahren.

Als ich eine Glasplatte, welche mir eine unerwartete Ablenkung gab, erwärmte, um die vermuthete Feuchtigkeit von ihrer Oberfläche zu entfernen, war ich überrascht, eine beträchtliche Zunahme der Ablenkung zu finden. Bei der Erwärmung bis zum Schmelzpunkte des Zinnes war sie bis auf den zehnfachen Betrag gestiegen, und steigerte sich bei weiterer Erhitzung bis zum Schmelzpunkte des Bleies bis zum 30fachen des ursprünglichen Betrages. Ward die obere Platte auf dem Glase etwas verschoben, so schlug die Nadel, welche ursprünglich eine Abweichung von 3^0 zeigte, an die Hemmung und ging sogleich darauf auf 30 bis 40^0 zurück. Ich war anfangs geneigt, hieraus auf eine Vergrösserung des Vertheilungsvermögens des Glases durch die Erwärmung zu schliessen, überzeugte mich jedoch später, dass diese Erscheinung durch Elektrolyse der Glasmasse herbeigeführt wurde.

Es ist bereits durch die Untersuchungen von Buff und Beetz festgestellt, dass das Glas schon bei geringen Erhitzungen leitend wird. Die Ladungsströme mussten daher scheinbar grösser werden, da das Galvanometer gleichzeitig die Stärke des durch das Glas gehenden Stromes angab. Die Entladungsströme mussten dagegen durch Leitung der Glasmasse geschwächt werden, da die Ladung sich nicht allein durch das Galvanometer, sondern auch noch durch die Glasmasse hindurch ausgleichen konnte. Die beobachtete grosse Verstärkung der Entladungsströme scheint daher nur in der elektrolytischen Ausscheidung von metallischem Kalium oder Natrium an der als negative Anode auftretenden Belegung gesucht werden zu können. Ein ganz ähnliches Verhalten zeigte geschmolzenes Kochsalz und andere elektrolytische Salze. Es traten auch bei diesen sehr kräftige Polarisationserscheinungen auf, die noch fortdauerten, als die Salzmasse schon wieder ganz erstarrt war, und erst aufhörten, als sie vollständig abgekühlt war. Hartes Kaliglas begann bei etwa 40^0 C. schon leitend zu werden. Weiches weisses Natronglas noch viel früher. Ich fand bei einer solchen Glasplatte sogar bis — 5^0 geringe Abnahme der Entladungsablenkung der Nadel. Bei Glimmerplatten war die Erwärmung ganz ohne Einfluss auf die Ladung, und die Isolirung blieb auch bei der grössten anwendbaren Erhitzung noch vollkommen. Dagegen erhielt Guttapercha schon durch geringe Erwärmung eine beträchtliche Leitungsfähigkeit. Als ich einen mit Guttapercha bekleideten Kupferdraht von 5 dm Länge

bis auf die freistehenden Enden in ein Gefäss mit kaltem Wasser tauchte, zeigte er sich vollkommen isolirt. Tauchte ich ihn dagegen in Wasser, welches etwa 40 ° C. warm war, so zeigte das Galvanometer kurz darauf eine Ablenkung von 6 °, welche gänzlich wieder verschwand, wenn das warme Wasser wieder durch kaltes ersetzt wurde. Die Vergrösserung der Ladungsströme war dagegen hier sehr viel schwächer, wie bei erwärmten Glastafeln, was sich dadurch erklärt, dass Kalium und Natrium viel höher in der elektrischen Spannungsreihe stehen wie Wasserstoff.

Es scheint mir nach diesen Versuchen wahrscheinlich, dass alle diejenigen elektrolytischen starren Körper, welche im geschmolzenen Zustande die Elektricität leiten, ihre Isolirungsfähigkeit schon im starren Zustande verlieren, wenn sie sich ihrem Schmelzpunkte nähern, und dass sie desto bessere Isolatoren sind, je weiter ihre Temperatur unter der ihres Schmelzpunktes steht.

Die bisherigen Versuche werden keinen Zweifel mehr darüber zulassen, dass der Einfluss des isolirenden Materials auf die Grösse der elektrostatischen Induction auch bei Elektricität sehr geringer Spannung besteht und dass derselbe nicht durch das Eindringen der Elektricität in die Masse des Isolators zu erklären ist. Dies vorausgesetzt, kann man die beträchtliche Vergrösserung der Vertheilungs- und Influenz-Elektricität durch die Anwendung starrer Isolatoren kaum anders erklären, als durch Annahme der Faraday'schen Hypothese der Molecularinduction. Es ist nun wohl denkbar, dass neben der Vertheilung durch Molecularinduction auch noch die directe Vertheilung durch unmittelbare Fernwirkung existirt. Um darüber Aufklärung zu erhalten, legte ich mehrere 1 mm dicke belegte Glasplatten aufeinander und verband die untere mit der Ableitung zur Erde. Wurde nach der in Fig. 17 angegebenen Schaltung verbunden, so gab die dauernde Ablenkung der Nadel das Mass der Ladung des Condensators. Ward anstatt der zweiten die dritte Belegung mit der Wippe verbunden, so war die Ladung etwa halb so stark, wie schon aus den früher mitgetheilten Versuchen folgt. Ich verband jetzt sowohl die zweite wie die dritte Belegung mit der Zunge der Wippe. Da jetzt beide Belegungen elektrisch waren, so musste die Ablenkung grösser werden, wenn die dritte Belegung, durch die zweite hindurch, einen vertheilenden Einfluss auf die natürliche Elektricität der abgeleiteten Belegung ausübte. Dies fand aber durchaus nicht statt. Selbst als 5 Belegungen mit der Zunge der Wippe verbunden waren, blieb die Ablenkung genau so gross, wie bei einer Belegung.

Ich bemerke noch, dass ich die zweite Belegung etwas grösser gemacht hatte, wie die übrigen. War dies nicht der Fall, so erhielt ich eine geringe Vergrösserung der Ablenkung, die sich durch Vertheilung in krummen Linien leicht erklärt.

Dasselbe Resultat erhielt ich, als ich 3 Flaschen, welche aussen und innen mit Stanniolbelegungen versehen waren, in einander setzte. War die äussere Belegung abgeleitet, so erhielt ich genau dieselbe Ladung, wenn die nächste Belegung allein oder wenn gleichzeitig die beiden übrigen mit der Zunge der Wippe verbunden waren. Es beweist dies jedenfalls, dass die vertheilende Kraft nicht durch einen gleich stark elektrisirten Leiter hindurch wirkt, und macht es sehr wahrscheinlich, dass die unmittelbare Vertheilung, wenn sie vorhanden ist, gegen die Molecularvertheilung verschwindend klein ist.

Die bisher erlangten Resultate lehren, dass die Quantität Q der Elektricität, welche ein aus zwei parallel gegenüberstehenden ebenen Platten von gleicher Grösse gebildeter Ansammlungsapparat aufnimmt, direct proportional ist der elektrischen Kraft E der Batterie, direct proportional der Grösse F der gegenüberstehenden Flächen, umgekehrt proportional der Dicke d der isolirenden Schicht und direct proportional einer Constante k, welche von der Materie des benutzten Isolators abhängt. Es ist mithin die Ladung

$$(1) \quad Q = E \cdot \frac{Fk}{d}$$

mit der Beschränkung, dass d gegen F sehr klein sei, oder eine Correctur ausgeführt werden muss, welche den Einfluss der wahrscheinlichen Vertheilung in krummen Linien zwischen den Kanten der Belegungen und um sie herum compensirt. Der Anblick dieser Gleichung zeigt eine vollkommene Uebereinstimmung mit dem Gesetz der Bewegung der Wärme und der Elektricität durch Leiter. Denkt man sich den Isolator als Leiter, die Fläche F, die Zuleitungsdrähte und die Kette selbst als widerstandslos, so würde die Stromstärke

$$J = E \cdot \frac{F \, . \, \lambda}{d}$$

sein, wenn λ den Coëfficienten der Leitungsfähigkeit des Materials der die Flächen F trennenden Platte bezeichnet. Man kann sich hiernach die Ladung als durch einen Strom von sehr kurzer Dauer durch die Masse des Isolators hindurch entstanden vorstellen, und der obigen Gleichung die Form

$$Q = \frac{E}{V}$$

geben, wenn man unter V den Ausdruck $\frac{d}{Fk}$ versteht, für welchen ich die Bezeichnung V e r t h e i l u n g s w i d e r s t a n d vorschlage, da er dem Leitungswiderstande des die Vertheilung vermittelnden Raumes ganz analog ist.

Ist die elektrostatische Induction ausschliesslich eine Molecularwirkung, wie es nach den bisherigen Resultaten wenigstens als wahr-

scheinlich erscheinen muss, so muss die Gleichung $Q = \frac{E}{V}$, deren Richtigkeit bisher nur für den einen Fall experimentell nachgewiesen ist, wenn der Ansammlungsapparat aus zwei parallelen Flächen besteht, deren Abstand gegen die Dimensionen der Collectorplatten sehr klein ist, allgemein gültig sein. Als erste Prüfung schien mir die Anwendung der Formel auf die Franklin'sche oder Cascaden-Batterie besonders geeignet.

Werden die gemessenen Ladungen einer Zahl von Ansammlungsapparaten verschiedener Capacität mit q, q', q'' etc. und die Vertheilungswiderstände derselben mit v, v', v'' etc. bezeichnet, so ist nach dem aufgestellten Vertheilungsgesetze

$$q = \frac{E}{v}$$
$$q' = \frac{E}{v'}$$
$$q'' = \frac{E}{v''}$$

und hieraus

$$v = \frac{E}{q}$$
$$v' = \frac{E}{q'}$$
$$v'' = \frac{E}{q''}.$$

Bezeichnet ferner Q die Ladung der als Cascaden-Batterie verbundenen Collectoren und V den zugehörigen Vertheilungswiderstand dieser Batterie, so ist ferner

$$Q = \frac{E}{V}$$

und

$$V = \frac{Q}{E}.$$

Der Vertheilungswiderstand sämmtlicher Collectoren besteht nun aus der Summe der Widerstände der Einzelnen. Es ist mithin

$$V = v + v' + v'' \text{ etc.}$$
$$(3) \quad \frac{1}{Q} = \frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} \text{ etc.}$$
$$Q = \frac{1}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''}} \text{ etc.}$$

Zur Prüfung der Richtigkeit dieser Formel für die Ladung der Cascaden-Batterie liess ich drei meiner Glastafeln von 1 mm Dicke mit Belegungen verschiedener Grösse versehen. Die mit I bezeichnete Tafel erhielt auf beiden Seiten Belegungen, welche ein Quadrat von 20 cm Seitenlänge bildeten und sich genau gegenüberstanden. Die Be-

legungen der Tafel II hatten 14, die der Tafel III 10 cm Seitenlänge. Es wurde zuerst die Ladung der einzelnen Collectoren, dann die verschiedener, aus denselben gebildeten Cascaden-Batterien gemessen.

Die Tabelle VII. *B* zeigt Versuche mit 3 andern Tafeln von 20, 18 und 15 cm Seitenlänge.

Tabelle VII. *A*.

1. Bezeichnung des Collectors	2. Beobachtete Ablenkung α	3. $\sin\alpha = Q$ beobachtet	4. $\sin\alpha = Q$ berechnet	5. Differenzen
I	36,8	0,599		
II	18,1	0,309		
III	9,7	0,168		
I u. II	12,5	0,216	0,20	0,01
I u. III	8,4	0,146	0,13	0,01
II u. III	7,0	0,122	0,11	0,01
I, II u. III	6,4	0,111	0,09	0,02

Tabelle VII. *B*.

1. Bezeichnung des Collectors	2. Beobachtete Ablenkung α	3. $\sin\alpha = Q$ beobachtet	4. $\sin\alpha = Q$ berechnet	5. Differenzen
I	20	0,342		
II	15,3	0,263		
III	9,6	0,166		
I u. II	8,2	0,142	0,140	0,002
I u. III	6,5	0,113	0,112	0,001
II u. III	5,8	0,101	0,097	0,004
I, II u. III	4,6	0,080	0,076	0,004

Columne 1 bezeichnet die einzeln oder cascadenförmig combinirt geladenen Collectoren. Columne 3 giebt die beobachtete Flaschenladung q der einzelnen Collectoren und die beobachtete Gesammtladung der combinirten Batterien an. Columne 4 enthält die nach der Formel

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} + \dots}$$

berechneten Ladungen der combinirten Batterien. Die Differenzen sind nicht allein durch Beobachtungsfehler zu erklären. Die berechneten Werthe sind sämmtlich etwas kleiner wie die beobachteten und zwar um so mehr, je mehr Collectoren combinirt waren. Es erklärt sich dies leicht daraus, dass die Ladung zwischen den Belegungen und den Zimmerwänden nicht in Rechnung gezogen werden konnte.

Die Messung der Ladung von Condensatoren mit Belegungen verschiedener Grösse giebt Gelegenheit, den bisher noch unvollständig ge-

lassenen Nachweis zu führen, dass die Ladung zweier Condensatoren von gleicher Glasdicke proportional der Grösse der Flächen ist, welche sich gegenüberstehen, vorausgesetzt, dass der Einfluss der Vertheilung in krummen Linien an den Kanten berücksichtigt wird.

Tabelle VIII.

Bezeichnung des Collectors	Ablenkung α	$\sin\alpha$	Fläche in □ cm F	$\frac{\sin\alpha}{F}$	Differenzen
I	20	0,3420	400	85	5
II	15,3	0,2638	324	81	1
III	9,6	0,1666	525	74	6
			Mittel	80	
IV	36,8	0,5990	400	15	1
V	18,1	0,3099	196	16	0
VI	9,7	0,1684	100	17	1
			Mittel	16	

Columne 5 der vorstehenden Tabelle enthält für 6 Collectoren von gleicher Glasdicke die Quotienten $\frac{Q}{F}$. Wie der Augenschein lehrt, sind die Unterschiede dieser Werthe noch ziemlich bedeutend. Die Differenzen sind zwar ziemlich beträchtlich, doch durch die Ungleichförmigkeit der Glasplatten und namentlich die Vertheilung in krummen Linien zwischen den Kanten und zwischen den abgewendeten Flächen zu erklären.

Noch geeigneter als Plattencollectoren sind zur Bestätigung der aufgestellten Formel

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} + \ldots}$$

für die Ladung der Cascaden-Batterie, Leydener Flaschen verschiedener Grösse und Flaschendrähte. In der auf S. 110 befindlichen Tabelle IX sind die mit solchen Batterien angestellten Versuche zusammengestellt.

Die durch Zwischenräume getrennten Versuche sind zu verschiedenen Zeiten angestellt, mithin nicht direct vergleichbar. Die berechneten Werthe sind bis auf einen etwas kleiner als die beobachteten, wie zu erwarten war, da die Ladung der Zuleitungsdrähte und der äusseren Belegungen der Flaschen mit den Zimmerwänden nicht berücksichtigt ist. Die Flaschen I bis VIII waren von verschiedenster Form und Glasstärke. Es wurden die Cascaden-Batterien immer durch leitende Verbindung der äusseren Belegung der einen Flasche mit dem Knopfe

Tabelle IX.

Bezeichnung der Flaschen	α	Q = sin α beobachtet	berechnet	Differenzen
I	21,2	0,3616	—	
II	11,8	0,2044	—	
I u. II	7,6	0,132	0,130	+ 0,002
III	24,4	0,4130	—	
IV	13,6	0,2350	—	
V	7,2	0,1253	—	
III u. IV	8,9	0,154	0,150	+ 0,004
III u. V	5,6	0,095	0,096	— 0,001
III, IV u. V	4,1	0,071	0,068	+ 0,003
VI	27,3	0,4586	—	
VII	14,9	0,2571	—	
.VIII	7,9	0,1374	—	
VI u. VII	19,8	0,170	0,165	+ 0,005
VII u. VIII	5,3	0,092	0,089	+ 0,003
VI u. VIII	6,2	0,107	0,105	+ 0,002
VI, VII u. VIII	4,5	0,078	0,075	+ 0,003
A	14,4	0,2487	—	
B	11,0	0,1908	—	
A u. *B*	6,5	0,113	0,108	+ 0,005

der nächsten gebildet. Sämmtliche Flaschen standen getrennt von einander auf einer Unterlage von Kautschukhorn. Die mit *A* und *B* bezeichneten Flaschen bestanden aus je 1 mm dicken, 30 m langen Drähten, welche gleichzeitig mit Guttapercha umpresst waren. Der Querschnitt der Guttapercha bildete annähernd eine Ellipse. Die Axen der Kupferdrähte der Drahtflasche *A* waren 2,75 mm von einander entfernt, und die Durchmesser des Guttapercha-Ueberzuges waren 8 und 9 mm. Der Abstand der Drähte der Drahtflasche *B* war 4 mm und die Durchmesser der Guttapercha-Hülle 10 und 13 mm.

Ich habe derartige Doppeldrähte zu langen Unterseeleitungen in Vorschlag gebracht und werde später mehrfach auf dieselben zurückkommen.

Das Verhältniss der Ladung dieser Drahtflaschen kann zur weiteren Prüfung der Richtigkeit des Vertheilungsgesetzes dienen. Nach Kirchhoff[1]) ist der Leitungswiderstand zwischen zwei Kreisen in einer unbegrenzten Ebene

$$W = C \log \frac{a}{r},$$

wenn a der Abstand der Mittelpunkte der Kreise, r der Radius der-

[1]) Ann. Bd. 64, S. 497.

selben und C eine Constante ist. Dieselbe Formel muss nun auch für den Vertheilungswiderstand Anwendung finden, es muss mithin

$$\frac{\log \frac{a}{r}}{\log \frac{b}{r}} = \frac{\frac{1}{0,248}}{\frac{1}{0,191}} = \frac{0,191}{0,248} = 0,77 \text{ sein,}$$

wenn a und b die Abstände der Drähte und r ihr Radius ist. Nach Substituirung der Zahlenwerthe erhält man

$$\frac{\log \frac{a}{r}}{\log \frac{b}{r}} = \frac{\log \frac{2,75}{0,5}}{\frac{4}{0,5}} = 0,81.$$

Die Gleichung ist mithin ziemlich vollständig erfüllt. Wenn man in Betracht zieht, dass die Drähte nicht vollständig parallel liegen, dass die Formel für den Leitungswiderstand nur eine Näherungsformel ist und dass sie nur für den Fall der unbegrenzten Ebene von überall gleicher Leistungsfähigkeit gültig ist, was hier nicht Anwendung findet, da der Vertheilungswiderstand der Guttapercha nur etwa halb so gross ist wie der der Luft, so erscheint die Differenz der beobachteten und berechneten Werthe sogar auffallend gering.

In Tabelle X, Seite 112 sind die Versuche zusammengestellt, welche ich über die Ladung von Flaschendrähten verschiedener Dimensionen angestellt habe. Es waren dies Drahtenden aus verschiedenen Fabricationsperioden, bei denen die Guttapercha theilweise schon durch Berührung mit der Luft etwas verändert war. Obgleich möglichst brauchbare Drähte ausgewählt wurden, so war die Concentricität des Drahtes und Ueberzuges doch bei allen mehr oder weniger unvollständig. Grosse Genauigkeit konnte mithin von diesen Versuchen nicht erwartet werden. Die Versuche wurden so angestellt, dass aus den zu untersuchenden Drähten Rollen von etwa 1 Fuss innerem Durchmesser gebildet, und diese in ein mit Wasser gefülltes metallenes Gefäss gelegt wurden. Das eine Drahtende ragte aus dem Wasser hervor, und das andere im Wasser befindliche war vorher durch Umklebung mit erwärmter Guttapercha isolirt. Der Draht ward mit der Zunge der Wippe verbunden. Die leitende Verbindung mit dem Wasser ward durch das Metallgefäss bewirkt.

Columne 2 giebt die Länge l, Columne 3 den Radius des metallischen Drahtes, Columne 4 den Radius des überzogenen Drahtes. Columne 6 enthält die gemessene Ladung und Columne 7 die daraus berechnete Constante der später entwickelten Formel für die Ladung. Die durch einen Zwischenraum getrennten Versuche sind in verschiedenen Zeiten ausgeführt und nicht vergleichbar. Der Versuch No. 9 ward mit einem mit Blei umpressten Draht von beträchtlicher Länge angestellt. Bei diesem bildete der Draht die innere, das Blei die äussere

Tabelle X.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
No.	l	r	R	α	$\sin\alpha = Q$	$\frac{Q}{l} \cdot \log\left(\frac{R}{r}\right)$
1	7,5	0,8	3,4	16,6	0,2856	0,024
2	5,5	0,8	2,1	16,3	0,2806	0,021
3	6	0,6	2,2	11,8	0,2044	0,019
4	6	0,8	2,2	15,3	0,2638	0,019
5	3,3	1,0	3,7	7,6	0,1322	0,022
6	7,6	0,8	2,1	25,2	0,4258	0,024
7	7,6	0,8	3,4	18,6	0,3189	0,025
8	2,9	1,0	2,5	5,5	0,0958	0,019
9	34,4	0,8	2,5	39,2	1,8960	0,027
10	7,5	0,8	3,4	19,1	0,3272	0,025
11	8,3	0,8	2,6	28,7	0,4802	0,027
12	2,9	1,0	3,8	5,6	0,0975	0,019
13	3,2	0,9	3,2	6,6	0,1149	0,018

Belegung der Flasche. Da die Ladung dieses Drahtes durch die zu den übrigen Messungen benutzte Daniell'sche Batterie von 54 Zellen nicht mehr gemessen werden konnte, so wurde eine Batterie von 18 Zellen benutzt, und der Sinus des gemessenen Winkels mit 3 multiplicirt. Die Differenzen sind zwar beträchtlich, doch durch die Beschaffenheit der untersuchten Drähte erklärlich.

Die Berechnung der Ladung der Flaschendrähte ist nach der Formel

$$Q = \frac{EC}{\log \frac{R}{r}}$$

ausgeführt.

Sie ergiebt sich aus der Gleichung $Q = \frac{E}{V}$, wenn man sich die cylindrische Guttapercha-Hülle in eine sehr grosse Anzahl concentrischer Schichten getheilt denkt und die Widerstände aller summirt.

Ist dx die Dicke eines solchen Hohlcylinders vom Radius x, so ist der Widerstand derselben

$$dv = \frac{dx}{l \, . \, 2\, x \pi k},$$

wenn k die Vertheilungsfähigkeit der Guttapercha bezeichnet.

Mithin

$$v = \frac{1}{2l\,\pi\, k} \cdot \int_r^R \frac{dx}{x} = \frac{1}{2l\,\pi\, k} \cdot \log \frac{R}{r}$$

und

$$(4)\quad Q = \frac{E}{V} = \frac{E \,.\, 2l\,\pi \,.\, k}{\log \frac{R}{r}}\,\text{[1]}$$

oder, wenn E unverändert bleibt

$$Q = C \cdot \frac{l}{\log \frac{R}{l}}$$

und

$$C = \frac{Q}{l} \cdot \log \frac{R}{r}.$$

Wenn auch die Uebereinstimmung der hiernach berechneten Constanten nicht befriedigend ist, so ergiebt sich doch wenigstens mit Bestimmtheit daraus, dass die Vertheilung nicht dem Gesetze der directen Anziehung folgt. Die Anziehung paralleler Linien, deren Länge unendlich oder wenigstens sehr gross gegen ihre Entfernung ist, steht in umgekehrtem Verhältniss ihrer Entfernung. Man kann sich nun den Mantel eines Cylinders, welcher einen dünnen Draht concentrisch umgiebt, in eine grosse Zahl schmaler Streifen zerlegt denken. Die Summe der Anziehung zwischen dem Draht und allen Streifen bildet die Summe der thätigen anziehenden Kräfte zwischen dem Cylinder-Mantel und dem Draht und müsste das Mass der Vertheilungsgrösse sein, wenn diese eine Wirkung der Anziehung „in Distanz“ wäre. Da sich nun ein Cylindermantel von doppeltem Durchmesser in doppelt so viel Streifen von gleicher Breite theilen lässt, von denen jeder mit halb so grosser Kraft von der Axe angezogen wird, die Gesammtanziehung zwischen Axe und Mantel mithin unabhängig vom Durchmesser des Cylinders ist, so müsste auch die Ladung zwischen beiden es sein, was offenbar nicht der Fall ist.

Die unvollständige Erfüllung der Gleichung

$$Q = E \frac{2l\;\pi\;k}{\log n \frac{R}{r}}$$

ist theils in excentrischer Lage des Drahtes in der Guttapercha, grösstentheils aber darin zu suchen, dass die letztere selbst sehr verschiedenartig und bei vielen Drähten schon sehr zusammengetrocknet und verharzt war. Es bildete sich dadurch ein mit Luft erfüllter Zwischenraum zwischen Draht und Guttapercha. Einige Drähte waren

[1] Wm. Thomson hat auf anderem Wege für die Capacität der Längeneinheit eines Flaschendrahtes den Werth $\frac{k}{2 \log n \cdot \frac{R}{r}}$ gefunden. Da mir bisher nur ein Auszug seiner Arbeit bekannt geworden ist, so vermag ich nicht anzugeben, weshalb die Constante ($^1/_2$ anstatt 2π) der Thomson'schen Formel von der meinigen verschieden ist.

mit geschwefelter Guttapercha bekleidet. Die dem Kupfer zunächst liegenden Schichten dieser Guttapercha waren durch Aufnahme von Schwefelkupfer leitend geworden, wodurch der wirksame Durchmesser des Drahtes etwas vergrössert wird. Genaue Zahlenangaben waren mithin hier nicht zu erwarten.

Tabelle XI.

1. No.	2. Zahl der Zellen n	3. Bezeichnung und Schaltung der Drähte	4. α	5. $\sin\alpha$	6. $C \cdot \frac{\sin\alpha}{n}$
	I				
1	54	$1 \div T$	38,7	0,6252	115
2	18	do.	11,9	0,2062	
3	54	$(1+2) \div T$	70,5	0,9367	172
4	18	do.	18,2	0,3123	
5	54	$1 \div 2$	28,5	0,4772	86
6	18	do.	8,8	0,1529	
7	54	$1 \div (2+T)$	43,0	0,6820	125
8	18	do.	13,0	0,2250	
	II				
1	54	$1 \div T$	33,7	0,5548	101
2	18	do.	10,3	0,1787	
3	54	$(1+2) \div T$	59,0	0,8572	155
4	18	do.	16,0	0,2756	
5	54	$1 \div 2$	23,7	0,4019	72
6	18	do.	7,2	0,1253	
7	54	$1 \div (2+T)$	36,3	0,5919	106
8	18	do.	10,7	0,1856	

In der vorstehenden Tabelle habe ich einige Versuche zusammengestellt, deren unerwartete Resultate für mich die erste Veranlassung zu der vorliegenden Arbeit waren. Ich hoffte die bei langen Unterseeleitungen so störenden Ladungen und die durch sie bewirkte Verzögerung des Stromes dadurch grösstentheils zu beseitigen, dass ich anstatt einfacher Leitungen und Benutzung der Erde als Rückleitung oder als Reservoir, wenn man diesen Ausdruck vorzieht, Doppeldrähte anwendete, welche in einer gemeinschaftlichen Guttapercha-Hülle liegen und einen ganz metallischen Kreislauf bilden. Da in diesem Fall die beiden Drähte in gleicher Entfernung von der Batterie gleich und entgegengesetzt elektrisch werden, so glaubte ich die auf der Oberfläche der gemeinschaftlichen Guttapercha-Hülle auftretende Influenz-Elektricität müsse an allen denjenigen Punkten derselben gleich Null sein, die gleichweit

von den gleich und entgegengesetzt elektrischen Drähten entfernt wären. Sie müsste dann an den übrigen Punkten proportional der Differenz der vertheilenden Wirkung der beiden Drähte, und die Ladung des ganzen Doppeldrahtes mithin sehr viel geringer sein, wie die eines einfachen Drahtes. Der Versuch lehrt nun aber, dass dies durchaus nicht der Fall ist. Es findet nicht nur keine Verminderung der Ladung im obigen Sinne statt, sondern im Gegentheil eine geringe Vergrösserung derselben.

Die Messungen der vorstehenden Tabelle sind mit den beschriebenen Doppeldrähten angestellt. Dieselben wurden in ein Gefäss mit Wasser getaucht, welches mit der Erde in leitender Verbindung war. Das eine Ende sämmtlicher Drähte war durch Umklebung mit erwärmter Guttapercha sorgfältig isolirt, das andere ragte aus dem Wasser hervor.

Columne 2 enthält die Zahl der Daniell'schen Zellen n, Columne 3 die Bezeichnung der Drähte und der Verbindung derselben. Die Ueberschrift I in dieser Columne bezeichnet den Doppeldraht mit 2,75 mm grossem, II den mit 4 mm grossem Abstand der Drähte von einander. Die arabischen Zahlen 1 und 2 bezeichnen die einzelnen Drähte eines Doppeldrahtes, das Zeichen $\div$ zwischen zwei Drähten bedeutet, dass die Ladung zwischen den durch sie bezeichneten Drähten gemessen ist. Der Buchstabe T bedeutet die Leitung zur Erde.

Durch $1 \div T$ ist mithin ausgedrückt, dass die Ladung zwischen Draht 1 und der äusseren leitenden und abgeleiteten Hülle der Guttapercha gemessen ist, $1 \div 2$ dagegen bedeutet, dass die durch Einschaltung der Batterie zwischen Draht 1 und Draht 2 ohne jede Ableitung zur Erde bewirkte Ladung, $(1 + 2) \div T$ endlich, dass die Ladung zwischen den beiden verbundenen Drähten 1 und 2 und der Erde gemessen ist. Columne 4 giebt die Ladung, Columne 6 das Mittel aus beiden auf die Ladung durch eine Zelle reducirten Messungen (s. Tab. XI).

Da bei der Ladung $1 \div 2$ die Batterie direct zwischen die beiden Drähte eingeschaltet wird und keine Ableitung zur Erde existirt, so ist die elektrische Kraft beider Batteriepole gleich gross und halb so stark wie die elektrische Kraft des isolirten Pols derselben abgeleiteten Batterie. Die Ladung eines jeden Drahtes ist bei diesen Versuchen daher nur durch die halbe Zahl der angegebenen Zellen bewirkt. Dies wird noch anschaulicher, wenn man sich die Batterie in der Mitte zur Erde abgeleitet vorstellt. Werden die beiden Drähte dann gleichzeitig mit den beiden freien, entgegengesetzt elektrischen Batteriepolen verbunden, so muss die Ladung ganz ebenso vor sich gehen, wie im vorliegenden Falle. Um die Ladungen der verschiedenen Combinationen vergleichen zu können, müssen daher die Ladungen $1 \div 2$ verdoppelt werden. Da diese Zahl grösser wird, wie die Ladung $1 \div T$ desselben Doppeldrahtes, so folgt daraus, dass keine Verminderung, sondern eine Vergrösserung der Ladung durch die Combination $1 \div 2$ herbeigeführt ist. Nach der Molecularvertheilungstheorie ist dies auch

ganz richtig. Jeder Punkt der kleinen Axe der Ellipse, welche ein Querschnitt der Guttapercha bildet, ist gleichweit von den beiden gleich und entgegengesetzt elektrischen Drähten entfernt. Für den elektrischen Strom zwischen diesen Drähten ist die durch alle kleinen Axen gelegte Ebene daher als vollkommen abgeleitet zu betrachten, da nach dem Ohm'schen Spannungsgesetze die elektrische Kraft in der ganzen Ebene gleich 0 wird. Hieraus folgt unmittelbar, dass der Strom zwischen den beiden Drähten stärker sein müsse, wie zwischen einem Draht und der Peripherie der Guttapercha, wenn in beiden Fällen in den Drähten gleiche elektrische Kräfte auftreten. Nach dem aufgestellten Widerstandsgesetze der elektrostatischen Vertheilung muss nun dasselbe auch für die Ladung gelten.

Ich zweifle nicht daran, dass es einem geübteren Mathematiker gelingen wird, die Richtigkeit des aufgestellten Vertheilungsgesetzes an allen in der Tabelle aufgeführten Messungen noch zu erweisen. Ich habe sie zu dem Zwecke und, weil ich im zweiten, die Verzögerung des Stromes durch die Ladung behandelnden Theile dieser Arbeit auf diese Messungen zurückkommen werde, hier vollständig mitgetheilt.

Schon vor einigen Jahren habe ich gefunden, dass auch lange, völlig isolirte oberirdische Telegraphenlinien durch die galvanische Batterie geladen werden. Es ist mir sogar mehrfach gelungen, durch die Grösse des Entladungsstromes die Lage des Ortes zu bestimmen, wo die Leitung zerrissen war. Zur genaueren Bestimmung der Capacität des aus einem oberirdischen Telegraphendrahte und dem Erdboden gebildeten Ansammlungsapparates, liess ich auf meinem Hofe einen Eisendraht von zwei englischen Linien Stärke und 120,85 m Länge aufhängen. Der Draht war in einem grossen Bogen ausgespannt, und befand sich in einer durchschnittlichen Höhe von 8 m über dem Erdboden. Die Befestigungspunkte waren sorgfältig isolirt, und das eine Ende direct zu meinem Instrumente geführt. Ich verglich nun die Ladung dieses Drahtes mit der eines Platten-Condensators von 1 mm Glasdicke und 2,25 □dcm Belegfläche. Ich erhielt folgendes Resultat:

Tabelle XII.

Zahl der Zellen n	Bezeichnung des Collectors	α	$\sin \alpha$	$\frac{\sin \alpha}{n} . c$	Mittel
18	Eisendraht	2,2	0,0383	2127	
36	"	4,4	0,0767	2130	2138
54	"	6,7	0,1166	2159	
18	Condensator	3	0,0523	2905	
36	"	6,1	0,1062	2950	2948
54	"	9,3	0,1615	2990	

Hiernach hat ein oberirdischer Telegraphendraht von 1 m Länge dieselbe Flaschencapacität wie eine 1 mm dicke Glastafel mit 100 □mm oder 0,00001 □m Belegfläche, oder eine deutsche Meile Leitung entspricht einer Flasche von 1 mm Glasdicke und etwa 7,7 □Fuss innerer Belegung.

Obschon die Höhe des Drahtes über dem Erdboden beträchtlich grösser war, wie bei Telegraphenleitungen gebräuchlich ist, so wird doch die Flaschencapacität bei diesen nicht viel grösser sein, da die Capacität meines Drahtes, durch hohe Gebäude und Bäume, welche in seiner Umgebung standen, nicht unwesentlich erhöht ist, und da überhaupt der Vertheilungswiderstand mit der grösseren Entfernung vom Boden nur wenig, d. i. im Verhältniss der Logarithmen der doppelten Höhe wächst, wenn dieselbe gross ist im Verhältniss zum Durchmesser des Drahtes. Man kann nämlich den Vertheilungswiderstand zwischen Draht und Erde nach der Kirchhoff'schen Widerstandsformel durch

$$\frac{C \cdot \log \frac{2h}{r}}{2}$$

ausdrücken, wenn h den Abstand des Drahtes von der Erde bezeichnet, woraus sich die Richtigkeit der obigen Annahme herleitet.

Von grosser Wichtigkeit ist die nachgewiesene, nicht unbedeutende Ladung der in der freien Luft ausgespannten Drähte bei Beurtheilung der Resultate der Geschwindigkeitsmessung der Elektricität. Da ich den grossen verzögernden Einfluss der Ladung der Flaschendrähte auf die Strombildung in den entfernten Theilen derselben später ausführlich behandeln werde, so genügt es hier, nur darauf aufmerksam zu machen, dass die Verzögerung des Stromes in Flaschendrähten im Verhältnisse der Quadrate der Länge der Drähte steht. Es folgt dies schon aus der Betrachtung, dass die Zeit, welche nothwendig ist, um die in irgend einem Stücke des Drahtes zurückbleibende und zur Ladung desselben nach Massgabe der ihm nach dem Ohm'schen Gesetz zukommenden „elektroskopischen Kraft" verwendeten Elektricitätsmenge an Ort und Stelle zu schaffen, sich direct wie die Elektricitätsmenge und umgekehrt, wie der von ihr zu überwindende Widerstand verhalten muss. Da nun bei einem doppelt so langen Drahte wohl die Quantität der in statische Anordnung übergehenden Elektricität, wie auch der mittlere zu überwindende Widerstand doppelt so gross ist, so folgt daraus unmittelbar, dass die Ladungszeit, nach deren vollständigem Verlauf der Strom am Ende des Drahtes erst auftreten kann, viermal so gross werden, mithin im Verhältniss der Quadrate der Drahtlängen stehen muss. Die ausgeführten Messungen der Geschwindigkeit der Elektricitätsverbreitung in Drähten haben nun die Summe der durch die Ladung und durch die Bewegungsgeschwindigkeit der Elek-

tricität bedingten Zeitverluste gemessen, von denen der erstgenannte im Verhältniss der Quadrate, der zweite im einfachen Verhältnisse der Länge der benutzten Drähte steht. Es erklären sich hierdurch die grossen Verschiedenheiten der Zahlenangaben für die Geschwindigkeit. Sie mussten um so grösser ausfallen, je kürzer und dünner die Drähte waren, mit denen experimentirt wurde. Ausserdem ist es klar, dass die wirkliche Geschwindigkeit der Elektricität sehr viel grösser sein muss, wie die gemessenen Werthe, vorausgesetzt natürlich die Richtigkeit der Messungen. Es scheint sogar wahrscheinlich, dass die beobachteten Zeitunterschiede nur der Ladung der Drähte zuzuschreiben sind.

Da es nicht möglich ist, Leitungen herzustellen, bei welchen keine Flaschenladung stattfindet, so behandelt die Frage der Geschwindigkeit der Stromverbreitung stets nur einen ideellen Fall, dessen Bedingungen sich nicht erfüllen lassen. Der einzige Fall, in welchem die elektrostatische Induction auf die Umgebungen eines Drahtes in der That verschwindend klein ist, ist der, wenn derselbe spiralförmig aufgewunden ist; es tritt dann aber dafür die elektrostatische Induction der ungleich elektrischen Windungen auf sich selbst und ausserdem die elektrodynamische Induction auf, wodurch auch dieser Fall für Geschwindigkeitsmessungen unbrauchbar wird. Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit der Elektricität selbst würden sich daher nur so ausführen lassen, dass man die Verzögerung des Stromes in verschiedenen Entfernungen von der Batterie misst, und aus der so gebildeten Reihe die Werthe für die Ladungszeit und die Geschwindigkeit der Elektricität ableitet.

Es führen diese Betrachtungen zu der Frage, worin die auf der Oberfläche der Conductoren angesammelte sogenannte freie Elektricität eigentlich bestehe, und worin sie von der Ladungs- oder sogenannten „gebundenen" Elektricität verschieden sei.

Faraday hat bekanntlich die Ansicht aufgestellt, dass die sogenannte freie Elektricität, oder gebundene oder Flaschenelektricität identisch sind und dass bei ersterer die Zimmerwände die äussere Belegung der Flasche bilden.

Das Vertheilungsgesetz bietet ein Mittel, die Richtigkeit dieser Ansicht zu prüfen. Der Vertheilungswiderstand dV einer sehr dünnen Hohlkugel, deren Wandstärke gleich dx und deren Radius gleich x ist, ist

$$dV = \frac{dx}{4x^2\pi k}$$

unter k der Vertheilungscoëfficient des Materials der Hohlkugel verstanden. Der Gesammtwiderstand aller aufeinander folgenden Hohlkugeln ist dann

$$V = \frac{1}{4\pi k} \cdot \int \frac{dx}{x^2}.$$

Das Integral zwischen $x = R$ und $x = r$ genommen giebt

$$V = \frac{1}{4\pi k} \cdot \frac{R-r}{R.r}.$$

Es ist also

$$Q = \frac{E}{V} = E.\,4\pi k \cdot \frac{Rr}{R-r}$$

und

$$(5) \quad \frac{Q}{E} = 4\pi k \cdot \frac{Rr}{R-r}.$$

Der Ausdruck $4\pi k \frac{Rr}{R-r}$ ist mithin die von Riess sogenannte Verstärkungszahl der Flasche vom inneren Radius r und dem äusseren R, wofür man bei Kugelflaschen allgemein den Ausdruck Capacität gebrauchen kann.

Sind R und r sehr wenig verschieden und setzt man:

$$R - r = \delta$$

und

$$4\,r^2\,\pi = F,$$

so geht obige Gleichung in

$$\frac{Q}{E} = \frac{4r^2\pi k}{\delta}$$

$$= \frac{F}{\delta} \cdot k$$

über, welche mit der von Poisson für den speciellen Fall, dass die Glasdicke gegen den Radius der kleinsten Krümmung sehr klein ist, entwickelten Formel identisch ist.

Ein in einem Zimmer von gewöhnlichen Dimensionen aufgestellter Conductor wird hinsichtlich der Capacität der Flasche, die er mit den Zimmerwänden und dem Fussboden bildet, ohne sehr grossen Fehler als im Centrum einer Hohlkugel von 3 m Radius befindlich betrachtet werden können. Ist der Conductor eine Kugel von 0,15 m Durchmesser, so ist seine Capacität, da k hier gleich 1 ist, nach Gleichung (5)

$$\frac{Q}{E} = 4\,.\,3{,}14 \cdot \frac{3\,.\,0{,}15}{3 - 0{,}15} = 1{,}98.$$

Die Capacität einer innen und aussen belegten Glaskugel von 0,15 m innerem Durchmesser und 2 mm Glasdicke ist dagegen, wenn $k = 2$ gesetzt wird:

$$\frac{Q'}{E} = 4\,.\,3{,}14 \cdot \frac{0{,}17\,.\,0{,}15.}{0{,}002} \cdot 2.$$

Das Verhältniss der Capacitäten beider Flaschen ist mithin:

1 : 160.

Versuche, die ich mit einer innen mit Spiegelbelegung versehenen Glaskugel anstellte, entsprachen diesem Verhältniss mit hinreichender

Genauigkeit. Frei im Zimmer aufgehängt gab die Kugel mit einer abgeleiteten Batterie von 54 Daniell'schen Zellen eine Ablenkung von $0{,}3^0$, während dieselbe Kugel in Wasser eine Ablenkung von 52^0 gab. Bei der Unsicherheit der Abschätzung der mittleren Entfernung der Zimmerwände, so wie namentlich der mittleren Dicke des Glases ist diese Uebereinstimmung grösser als erwartet werden konnte.

In statischer Anordnung auf der Oberfläche eines Körper befindliche Elektricität kann daher stets als gebunden, latent, oder durch entgegengesetzte Elektricität auf anderen benachbarten Körpern beschäftigt betrachtet werden, und ein Unterschied zwischen beiden Elektricitätsarten ist nur im Standpunkte des Beobachters, ob in oder ausserhalb des thätigen Dielectricums, zu finden.

Vergleicht man nach der Formel (5) die Ladung oder Elektricitätsmenge Q und Q' zweier Kugelconductoren von verschiedener Grösse, so ist:

$$Q:Q' = \frac{Rr}{R-r} : \frac{Rr'}{R-r'}$$

$$(6) \quad = \frac{r}{R-r} : \frac{r'}{R-r'}.$$

Die Elektricitätsmenge, welche durch gleiche elektrische Kräfte auf zwei in gleichen Räumen befindliche Kugelconductoren von verschiedener Grösse angehäuft wird, verhält sich daher nicht wie die Oberfläche derselben, sondern die Flächeneinheit der kleinen Kugel enthält mehr Elektricität, wie die der grossen, oder mit anderen Worten:

„Die Dichtigkeit der Elektricität der kleinen Kugel ist grösser als die Dichtigkeit der Elektricität der grossen.“

Bezeichnet F die Oberfläche der Kugelconductoren so ist $\frac{Q}{F} = d$ die Dichtigkeit.

Es ist dann:

$$d : d' = \frac{1}{(R-r)r} : \frac{1}{(R-r')r'}$$

und wenn R sehr gross gegen r ist:

$$(7) \quad d : d' = \frac{1}{r} : \frac{1}{r'}.$$

Die Dichtigkeiten zweier in sehr grossen Räumen befindlicher Kugelconductoren, welche soweit von einander entfernt sind, dass sie keine merkbare Influenz auf einander ausüben, verhalten sich daher umgekehrt wie die Durchmesser der Kugeln.

Es erklärt sich dies dadurch, dass der Vertheilungswiderstand hauptsächlich in den den Kugeln zunächst liegenden Schichten des Dielectricums zu suchen ist. Je kleiner nun der Krümmungshalbmesser einer Fläche ist, desto schneller nehmen die aufeinander folgen-

den concentrischen Schichten an Ausdehnung zu, mithin an Widerstand ab. Der auf die Flächeneinheit reducirte Vertheilungswiderstand ist daher bei der kleinen Kugel geringer, wie bei der grossen, obschon der Abstand der Fläche der kleinen von der Umgrenzung des Zimmers grösser ist.

Ich habe noch nicht durch Versuche feststellen können, ob das durch die Gleichung (7) gegebene Verhältniss der Dichtigkeit der Elektricität auf der Oberfläche kugelörmiger Conductoren von verschiedener Grösse sich bestätigt. Ebensowenig sind mir Versuche mit Reibungselektricität bekannt, an denen direct geprüft werden könnte, ob dies Verhältniss mit dem Experiment übereinstimmt. Dagegen bietet der Ausdruck für die Ladung der Flaschendrähte hierzu sehr gute Anhaltspunkte. Nach Gleichung (4) ist:

$$Q = E \,.\, l\pi k \cdot \frac{1}{\log \frac{R}{r}} \cdot$$

Man kann sich nun einen im Zimmer ausgespannten Draht von Radius r als von einem leitenden Cylindermantel umgeben denken und die Elektricitätsmenge Q gleich der Flaschenladung zwischen dem inneren und äusseren Cylinder nach dieser Formel bestimmen. Die Dichtigkeit d der Elektricität auf der Oberfläche des inneren Cylinders ist dann:

$$d = \frac{Q}{2r \,.\, \pi \,.\, l}$$

d. i. die Elektricitätsmenge dividirt durch die Fläche.

Es ist mithin

$$(8) \quad d = \frac{Q}{2r\pi l} = \frac{E}{r \log . \frac{R}{r}} \cdot$$

Setzt man nun $R = 5$ Fuss $= 60''$ und substituirt für r nach einander die Radien $1''$, $\frac{1}{2}''$, $\frac{1}{12}''$, so erhält man:

$$d : d' : d'' = \frac{1}{1 : \log \frac{5 \,.\, 12}{1}} : \frac{1}{\frac{1}{2} \log \frac{5 \,.\, 12}{\frac{1}{2}}} : \frac{1}{\frac{1}{12} \log \frac{5 \,.\, 12}{\frac{1}{12}}}$$

$$= \frac{1}{\log 60} : \frac{2}{\log 120} : \frac{12}{\log 720}$$

$$= 1{,}14 : 2 : 8{,}8$$

In nachstehender Tabelle sind diese Werthe mit denen zusammengestellt, die Coulomb für die Dichtigkeit gleich dicker, durch Ansetzen an eine 8zöllige Kugel elektrisirter Drähte angiebt[1]).

[1]) Riess, Lehrbuch der Elektricität Bd. I, S. 174.

Tabelle XIII.

Durchmesser des Cylinders	Dichtigkeit beobachtet durch Coulomb	Dichtigkeit berechnet	Differenzen
2″	1,3	1,14	+ 0,16
1	2	2	0
$\frac{1}{6}$	9	8,8	+ 0,2

Die Berechnung stimmt mit der Beobachtung genauer wie zu erwarten überein, wenn man bedenkt, dass die Substitution eines cylindrischen und concentrischen Zimmers nur auf Schätzung beruht und weder der Einfluss der grösseren Dichtigkeit der Drahtenden, noch die Erschöpflichkeit der von Coulomb benutzten Elektricitätsquelle, d. i. einer elektrisirten 8 zölligen Kugel in Rechnung gezogen ist.

Nach Gleichung (7) und (8) verhält sich die Dichtigkeit D der Kugel zu der Dichtigkeit d des angesetzten Cylinders:

$$D : d = \frac{1}{r} : \frac{1}{r' \log \frac{R}{r'}}$$

$$= 1 : \frac{r}{r' \log \frac{R}{r'}}.$$

Für r den Radius der von Coulomb benutzten 8 zölligen Kugel, für r' den Cylinder-Radius 1 und für R wie oben 60 gesetzt, erhält man $D : d = 1 : 0{,}977$, während Coulomb das Verhältniss $1 : 1{,}28$ fand. Es scheint hiernach R für Coulomb's Versuche zu gross gewählt zu sein. Nimmt man für R 37 Zoll als die wahrscheinliche Entfernung seines Cylinders vom Fussboden, so erhält man

$$D : d = 1 : 1{,}12.$$

Je kleiner in der Formel

$$d = \frac{E}{r \log \frac{R}{r}}$$

der Radius r wird, desto kleiner wird der Nenner des Bruches, desto grösser mithin die Dichtigkeit. Wird r verschwindend klein, so wird $d = \infty$. Hieraus folgt, dass die Dichtigkeit der Elektricität einer vollkommenen Spitze unendlich gross wird.

Es werden diese Beispiele ausreichend sein, um zu zeigen, dass Faraday's Vermuthung, dass freie statische Elektricität, wo und in welcher Form sie auch auftritt, stets vermittels eines Dielectricums in materieller Wechselwirkung mit einer gleichen Quantität entgegengesetzter Elektricität steht, allem Anschein nach nicht mit Thatsachen — wenn auch mit manchen sehr sinnreichen und bisher allgemein aner-

kanten Theorien — in Widerspruch steht. Durch den Nachweis, dass die freie Elektricität und Flaschenelektricität als identisch betrachtet werden können, und dass die Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche der Conductoren in einigen wichtigen Fällen auch bei Elektricität hoher Spannung durch das nothwendige Gesetz der Molecularvertheilung begründet wird, ist die Frage berechtigt, ob die statische Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche der Leiter nicht ausschliesslich als Folge der Molecularvertheilung aufgefasst werden kann.

Ich wage nicht, diese wichtige Frage unbedingt zu bejahen, kann es auch nicht unternehmen, alle von der Form der Conductoren und ihrer gegenseitigen Influenz abhängigen Dichtigkeitsverhältnisse als durch das Gesetz der Molecularvertheilung bedingt nachzuweisen, da mich dies weit über die Grenzen hinausführen würde, die ich der Ausdehnung der vorliegenden Arbeit stecken musste, glaubte jedoch durch die mitgetheilten Resultate berechtigt zu sein, diese Ansicht so lange für begründet zu erklären, bis der Nachweis des Gegentheils geführt ist.

Es ist nicht anzunehmen, dass zwei von einander unabhängige Ursachen die Dichtigkeit der Elektricität auf der Oberfläche der Körper bedingen, von denen jede in einzelnen Fällen nicht nur die ganze Erscheinung erklärt, sondern sogar nothwendig bedingt. Ist daher die Ansicht Faraday's, dass die elektrostatische Induction oder Vertheilung ausschliesslich eine Molecularwirkung, keine Folge der directen Anziehung und Abstossung der elektrischen Fluida ist, richtig — und nach den vorliegenden Versuchen scheint mir kaum noch ein Zweifel darüber zulässig — so ist dieselbe auch die Ursache der Verschiedenheit der Dichtigkeit der Elektricität auf der Oberfläche leitender, elektrisirter Körper. Es kann daher die Kraft, mit welcher zwei elektrisirte Körper sich erfahrungsmässig anziehen, resp. abstossen, nicht gleichzeitig die erste Ursache der ungleichen Verbreitung der Elektricität auf der Oberfläche der Körper sein, oder mit anderen Worten: Die Anziehung und Abstossung ist nicht eine Eigenschaft der elektrischen Fluida, sondern der elektrischen Materie.

Poisson begründet seine Berechnungen der Dichtigkeit der Elektricität wesentlich auf die von ihm als nothwendig angenommene Bedingung, dass die Resultate aller anziehenden Wirkungen der auf der Oberfläche eines Körpers befindlichen Elektricität für jeden beliebigen Punkt im Innern gleich 0 sein müsse, da anderenfalls eine Zerlegung der natürlichen Elektricität dieses Punktes und dadurch eine Störung des angenommenen Gleichgewichtes eintreten müsse. Ist jedoch die Vertheilung ausschliesslich eine Molecularwirkung des thätigen Dielectricums, so kann gar keine Zerlegung im Innern des Leiters durch Anziehungswirkung eintreten. Die erste Grundbedingung der Poisson'-

schen Rechnungen fällt daher fort. Wahrscheinlich wird sich die zweite Bedingung, „dass die freie Oberfläche der elektrischen Schicht eine Gleichgewichtsfläche sein müsse“, aus dem Molecularvertheilungsgesetz herleiten lassen — wodurch der Widerspruch zwischen beiden Theorien beseitigt würde.

Eine weitere Consequenz der Faraday'schen Theorie ist die gänzliche Verschiedenheit der Begriffe „elektrische Kraft oder Spannkraft“ und Dichtigkeit der Elektricität. Es zeigt sich diese Verschiedenheit am klarsten in der als richtig erwiesenen Anschauung, „dass die Elektricitätsmenge jedes Flächenelements als durch einen elektrischen Strom von bestimmter kurzer Dauer durch das leitend gedachte Dielectricum hindurch“ entstanden gedacht werden kann. Die Dichtigkeit oder die Elektricitätsmenge der Flächeneinheit entspricht daher der Stromstärke, nicht der elektromotorischen Kraft des Ohm'schen Gesetzes. Hiermit steht in scheinbarem Widerspruch, dass die Ausströmung und die Schlagweite der Elektricität, welche wir als unmittelbare Spannungserscheinungen zu betrachten gewöhnt sind, offenbar im Verhältniss der „Dichtigkeit“ stehen. Der von Licht- und Wärmeentwicklung begleitete Entladungsvorgang ist aber offenbar keine statische, sondern eine Bewegungserscheinung und von diesem Standpunkt aus zu betrachten.

Wenn man zwei dünne Glas- und Glimmerplatten einseitig mit Stanniol belegt und die nicht belegten Seiten so aufeinander legt, dass ein lufterfüllter Zwischenraum von geringer aber gleichmässiger Dicke sich zwischen ihnen befindet, so erhält man bekanntlich eine Lichterscheinung in dem ganzen lufterfüllten Raume, wenn man den so gebildeten Collector durch eine hinlänglich geladene Leydner Flasche ladet. Diese Lichterscheinung wiederholt sich bei der Entladung des Collectors. Das Leuchten des Luftraums tritt nicht ein, wenn die Flasche sehr schwach geladen ist. Es beginnt bei einer ganz bestimmten Ladung und verstärkt sich von diesem Punkte an mit der Vergrösserung der Ladung der Flasche.

Es liegt nahe, aus dieser Erscheinung den Schluss zu ziehen, dass die elektrische Polarisation der Molecüle eines Dielectricums, als welche wir die Molecularvertheilung betrachten müssen, ein bestimmtes, von der Natur und Dichtigkeit des Körpers abhängiges Maximum nicht überschreiten kann, und dass ein Spannungs- oder Polarisations-Ueberschuss durch eine von Licht- und Wärmeentwickelung oder chemischer Action begleitete Bewegungserscheinung noch unbekannter Natur ausgeglichen oder übertragen wird. Gesetzt, der Gesammtvertheilungswiderstand des Glases wäre gleich dem des Luftraumes zwischen den Glastafeln, und die elektrische Kraft E wäre so gewählt, dass das Vertheilungsmaximum der Luft gerade erreicht wäre, so wäre, wenn v den Vertheilungswiderstand der Glasmasse bezeichnet,

$$Q = \frac{E}{2v}.$$

Wird nun die wirksame elektrische Kraft E verdoppelt, so würde die Ladung

$$Q' = \frac{2E}{2v}$$

sein, wenn das Vertheilungsmaximum des Luftraumes nicht überschritten wäre. Da dies nun aber nach der Voraussetzung schon bei der Hälfte dieser Ladung der Fall ist, so kann man sich die Ladung in zwei Theile zerlegt denken, von denen der eine gleich $\frac{E}{2v}$, der andere durch $\frac{E}{v}$ ausgedrückt werden kann, indem der Vertheilungswiderstand der Luftschicht für den zweiten Theil fortfällt. Es wird mithin die wirkliche Ladung des Collectors

$$Q'' = \frac{E}{2v} + \frac{E}{v} = \frac{3}{2} \cdot \frac{E}{v}$$

sein.

Der Entladungsvorgang im lufterfüllten Raume muss daher gleich $Q'' - Q' = \frac{E}{2v}$ sein. Das Arbeitsaequivalent dieser Entladung im Innern des Dielectricums muss als Licht, Wärme oder Veränderung der Gruppirung der Körpermolecüle, d. i. als chemische Action, auftreten. Im vorliegenden Falle findet gleichzeitig mit der Licht- und Wärmeentwickelung eine Umwandlung des Sauerstoffs der Luft in Ozon [1]) statt.

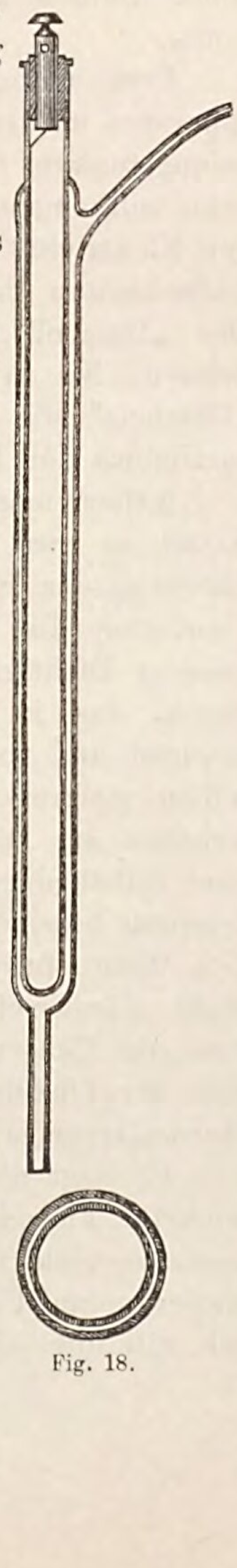


Fig. 18.

[1]) Ich habe diese Erscheinung zur Construction eines Apparates benutzt, der die Ozonisirung des Sauerstoffes durch inducirte Ströme auf folgende Weise bezweckt:

Zwei Glasröhren aus möglichst dünnem Glase, von denen die eine an einem Ende geschlossen und etwas enger ist, wie die andere, werden so in einander gesetzt, dass der ringförmige Zwischenraum zwischen beiden Röhren überall gleich dick ist. Beide Röhren werden darauf an einem Ende zusammengeschmolzen und das äussere Rohr mit einem zum ringförmigen Raume führenden Ansatzrohr versehen. Das andere Ende des äusseren Rohres wird zu einem dünnen Rohre ausgezogen. Fig. 18 zeigt diesen Apparat in Auf- und Grundriss. Es wird hierdurch ein Glasrohr mit Doppelwand gebildet, deren Leerraum durch zwei möglichst von einander entfernte Ansatzröhren in Verbindung mit der äusseren Luft steht. Ist nun die äussere und innere Oberfläche des Glasrohres mit einer metallischen Belegung versehen und werden die Drahtenden der secundären Spirale eines kräftigen Inductionsapparates mit Wagner'schem Hammer mit demselben leitend verbunden, so beginnt der Zwischenraum zwischen den Glasröhren zu leuchten und die in ihm befindliche Luft wird ozonisirt. Durch Hineinblasen in das eine Ansatzrohr kann man die Luft leicht wechseln und auf diese Weise schnell grosse Mengen ozonisirter Luft erhalten.

Wären die inneren, durch Luft getrennten Glasflächen leitend, so würde nur in dem Falle eine ganz gleiche, den ganzen lufterfüllten Raum erfüllende Entladung zwischen denselben eintreten, wenn die Flächen absolut eben und parallel und die Dichtigkeit der Luft überall vollkommen gleich wäre. Anderenfalls würde die Entladung zuerst an den Stellen beginnen, die einander am nächsten oder deren elektrische Dichtigkeit am grössten wäre. Da durch die, die Entladung begleitende Erwärmung die von ihr ergiffene Luft verdünnt und ihr Vertheilungsmaximum dadurch progressiv vermindert wird, so muss sich jetzt die ganze Entladung da bewerkstelligen, wo sie einmal begonnen hat; es wird mithin anstatt einer allgemeinen Lichterscheinung eine auf einen kleinen Raum beschränkte — ein elektrischer Funke — auftreten.

Dem analog kann man sich die Entladung eines Ansammlungsapparates, mithin auch eines Conductors, durch Ausstrahlungs- oder Entladungsfunken überall vorstellen. Eine an einem Conductor befindliche vollkommene Spitze muss stets „ausströmen", da die Dichtigkeit der Elektricität der Spitze unendlich gross ist, mithin bei den nächsten Luftschichten das Vertheilungsmaximum jedenfalls überschritten wird. Der „Büschel", d. i. die Entladungssphäre, wird sich so weit ausdehnen, bis in Folge der Erweiterung der Begrenzungsflächen des „Büschels" die Ueberschreitung des Vertheilungs- oder Polarisationsmaximums der Luft nicht mehr stattfindet.

Nähert man dagegen einem geladenen Conductor eine abgeleitete Kugel, so wird die Entladung beginnen, wenn bei der mit der Annäherung der Kugel schnell wachsenden Ladung zwischen Kugel und Conductor die Grenze des Polarisationsmaximums der die Punkte grösster Dichtigkeit umgebenden Luftschichten überschritten wird. Dadurch, dass in diesem der Entladungsvorgang eintritt, wird die Luft erwärmt und verdünnt, und hierdurch das Polarisationsmaximum derselben progressiv vermindert. Die Entladung muss daher die entfernten, am stärksten polarisirten Lufttheile angreifen und sogleich eine vollständige werden und dabei auf eine geringe räumliche Ausdehnung beschränkt bleiben.

Wenn durch diese Auffassung des Entladungsvorganges auch noch nicht alle Erscheinungen genügend erklärt werden, so zeigt sie doch, dass die Thatsache, dass die Entladung durch Funken oder Büschel von der Dichtigkeit, nicht von der elektrischen Kraft abhängt, der Molecularvertheilungstheorie nicht widerspricht.

Es liegt nicht in meiner Absicht, auf die im Obigen weiter entwickelte Theorie der „elektrostatischen Molecularinduction" eine allgemeine elektrische Theorie zu begründen, da ich glaube, dass die Experimental-Untersuchungen hierzu noch nicht vollständig genug sind. Ich will nur schliesslich noch darauf aufmerksam machen, dass es sehr

wahrscheinlich ist, dass der Sitz der Elektricität von den Leitern in die sie umgebenden Nichtleiter zu verlegen und sie selbst als eine elektrische Polarisation der Molecüle der letzteren zu definiren ist. Die Leiter würden dann nur als polarisirte Räume im elektrisch polarisirten Medium mit der Eigenschaft, die Polarisation ihrer Umgebung von einem Punkte ihrer Grenzfläche zu jedem anderen übertragen zu können, aufzufassen sein. Nimmt man an, dass der Vertheilungscoëfficient der Leiter sehr gross gegen den der Nichtleiter und proportional ihrer Leitungsfähigkeit, das Vertheilungsmaximum derselben dagegen verschwindend klein ist — so scheinen alle Bedingungen zur Erklärung der Erscheinungen des elektrischen Stromes wie auch der Anziehung und Abstossung erfüllt zu werden.

Umriss der Principien und des praktischen Verfahrens bei der Prüfung submariner Telegraphenleitungen auf ihren Leitungszustand.

(Der British Association in Oxford vorgetragen am 3. Juli 1860.)

Von Dr. **Werner Siemens** und **C. William Siemens.**

(Aus der Zeitschrift des deutsch-österreichischen Telegraphen-Vereins, Jahrgang 1860.)

Die Störungen, welche ausgedehntere submarine elektrische Telegraphenlinien seither nur zu oft erfahren, sind in fast allen Fällen durch eine allmähliche Abnahme der Isolation veranlasst worden. Bei der Ausbesserung dieser Linien fand man in der Regel, dass die Guttapercha an einzelnen Stellen durch die elektrolytische Wirkung des zum Betriebe der Linie benutzten Stromes zerstört worden und zwar an den Stellen, wo die Dicke der isolirenden Schicht von Hause aus geringer war als die durchschnittliche, sei es in Folge irgend einer mechanischen Verletzung, sei es, wie häufiger der Fall war, in Folge einer Blase im Material, welche das Wasser eingedrückt hatte, oder in Folge einer excentrischen Lage des Drahtes.

An solchen Stellen, wo die isolirende Guttaperchaschicht von gleichförmiger und genügender Dicke war, ist nie eine Zersetzung oder theilweise Zerstörung des Materials wahrgenommen worden, selbst wenn die Linie Jahre lang in Betrieb gewesen war. Die Schnelligkeit, mit der das Werk der Zerstörung an fehlerhaften Stellen fortschreitet, hängt ganz von der Intensität und der Dauer des beim Betriebe der Linie angewendeten Stromes ab. In langen Linien treten, wegen des grösseren Widerstandes des metallischen Leiters, Störungen verhältnissmässig rascher ein. Ihr Fortschritt kann durch Anwendung *schwacher*, nicht *alternirender* Ströme beim Betriebe verzögert, aber nie ganz aufgehalten werden, und es ist als feststehend anzunehmen:

so lange dünne Stellen im isolirenden Guttapercha-Ueberzuge eines submarinen Kabels nicht ganz vermieden sind, so lange wird seine Isolation allmählich immer schlechter werden.

Es ist also in erster Linie von Wichtigkeit, alle Unregelmässigkeiten in dem isolirenden Ueberzuge möglichst zu vermeiden. Das verwendete Material muss daher vollkommen homogen sein; es muss in mehreren dicht auf einander schliessenden Lagen auf den Draht gebracht werden; Luftblasen müssen durchaus vermieden und die Concentricität des ganzen Ueberzuges muss durch Anwendung vollkommener Maschinen und Vermeidung jedes Anhaltens während des Processes des Ueberziehens, wobei die verschiedenen Lagen des Ueberzuges durch die Hitze erweichen könnten, gesichert werden.

In neuerer Zeit hat die Operation des Ueberziehens elektrischer Leiter mit Guttapercha und Zwischenlagen von der unter dem Namen „Chatterton's Mischung“ bekannten Composition wichtige Vervollkommnungen erfahren, wie man aus der Thatsache ersehen kann, dass die für die Strecke Rangoon-Singapore ausgeführten Kabel sich als 10mal besser isolirt zeigten, als die Kabel der Linien im rothen Meere und nach Indien vor deren Legung.

Diese bemerkenswerthe Verbesserung wurde durch die von der Guttapercha-Company auf die Fabrication verwendete grosse Sorgfalt, verbunden mit einem System fortlaufender genauer Untersuchungen, mit denen wir von der britischen Regierung beauftragt waren, erreicht. Diese Untersuchungen sind der Hauptsache nach dahin gerichtet, die specifische Leitungsfähigkeit einer jeden Meile des überzogenen Drahtes zu ermitteln; alle Strecken, deren Leitungsfähigkeit unter einer gewissen festgesetzten Grenze bleibt, werden verworfen.

Die ausserordentliche Veränderlichkeit der Leitungsfähigkeit der im Handel vorkommenden Kupfersorten wurden Gegenstand einer sehr gediegenen, auf Veranlassung der britischen Regierung von Hrn. Dr. Mathiessen ausgeführten Untersuchung.

In der Praxis fanden wir, dass bei den mit der grössten Sorgfalt zu Telegraphenleitungen ausgewählten Kupferdrähten Schwankungen des Leitungsvermögens bis zu 20 Procent vorkommen, und dass das reinere Kupfer stets auch das besser leitende ist.

Die Messungen des Leitungsvermögens für jede einzelne Meile des isolirten Drahtes sind unerlässlich, nicht nur um mangelhaftes Material ausschliessen zu können, sondern auch um einen vollständigen Nachweis über die Leitungsfähigkeit jedes einzelnen Theiles des fertigen Kabels zu gewinnen, ohne welchen es später nicht möglich ist, etwa vorkommende Beschädigungen durch galvanische Versuche und Rechnung dem Orte nach genau zu bestimmen.

Am schwierigsten und gleichzeitig am wichtigsten sind die Versuche zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit der isolirenden Um-

hüllung[1]) für jede Meile des überzogenen Leitungsdrahtes; denn es genügt nicht, gröbere Fehler oder Löcher zu finden, sondern es müssen auch die Stellen, wo der Draht excentrisch liegt, Blasen und andere kleine Mängel im isolirenden Material ermittelt werden; alle Theile des Leitungsdrahtes, bei welchen das isolirende Material in Bezug auf Leitungsfähigkeit sich nicht in dem vollkommensten Zustande erweist, sind zu verwerfen.

Zu dem Zwecke war es zuvörderst nöthig, die Leitungsfähigkeit des zur Isolation der Drähte benutzten Materials zu bestimmen; vorläufige Versuche lehrten, dass diese Leitungsfähigkeit bei constanter Temperatur hinlänglich gleichmässig ist.

Der Einfluss der Temperatur auf die Leitungsfähigkeit der Guttapercha und anderer isolirender Körper wurde seiner Zeit von dem wissenschaftlichen Comité, das die britische Regierung mit telegraphischen Untersuchungen betraut hat, gründlich erforscht. Für unseren vorliegenden Zweck genügt die Thatsache, dass nach diesen Versuchen die Leitungsfähigkeit der Isolirschicht bei dem für die Strecke Rangoon-Singapore bestimmten Kabel zwischen den Temperaturgrenzen von 41 bis 80^0 Fahrenheit (oder 5 bis 27^0 Celsius) nahe im Verhältniss von 1 : 7 zunahm. Das Verhältniss dieser enormen Zunahme ist indess keineswegs constant; in Ermangelung erschöpfender und verlässlicher experimenteller Resultate fanden wir es daher rathsam, alle unsere Prüfungen bei derselben Temperatur und zwar bei 75^0 F. (24^0 C.) auszuführen. Dieser verhältnissmässig hohe Temperaturgrad hat den Vortheil, dass derselbe nach der späteren Legung des Kabels in der Wirklichkeit selten überschritten wird, und dass, da bei dieser Temperatur das Leitungsvermögen fast siebenmal grösser ist als bei der Wintertemperatur von 41^0 F., der Einfluss kleinerer Fehler auf die Messinstrumente verhältnissmässig wahrnehmbarer ist. Um diese Gleichförmigkeit der Temperatur möglichst genau zu erzielen, liess man die zu untersuchenden Drahtringe 24 Stunden hindurch in einem Behälter mit Wasser liegen, dessen Temperatur auf 75^0 erhalten wurde; dann wurden sie herausgenommen, in den mit Wasser von derselben Temperatur gefüllten und hermetisch verschliessbaren Versuchskasten gebracht und einem hydraulischen Druck von mindestens 600 Pfd. auf den

[1]) Um allen Missverständnissen vorzubeugen, erlauben wir uns, den geehrten Leser daran zu erinnern, dass Guttapercha, Kautschuk, sowie alle Körper, die wir Isolatoren zu nennen pflegen, dies nicht im absoluten Sinne des Wortes sind, sondern dass vielmehr alle Körper die Elektricität mehr oder weniger leiten und die Leitungsfähigkeit der sogenannten Isolatoren nur im Vergleich zu derjenigen der Metalle ausserordentlich gering ist. Die Erfahrung hat indessen gelehrt, dass selbst diese geringe Leitungsfähigkeit der Guttapercha bei langen unterseeischen Leitungen, wo eine sehr ausgedehnte und verhältnissmässig dünne Schicht dieses Materials zur Anwendung kommt, bemerkbar hervortritt, weshalb diese Spur von Leitungsfähigkeit oben mit in Untersuchung gezogen worden ist.

Quadratzoll (ca. 42 Atmosphären) ausgesetzt, damit das Wasser in die etwa vorhandenen Höhlungen oder Risse eindringe.

Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, welche durch Beobachtungen an Kabeln während der Operation des Einsenkens bekräftigt wurde, dass unter hydrostatischem Druck die Leitungsfähigkeit der Guttapercha sich merklich vermindert, nach Aufhören des Druckes jedoch sich wieder bis etwas über den ursprünglichen Werth steigert. Bei Drahtringen mit geringen Fehlern dagegen erzeugt die Zunahme des äusseren Druckes keine Zunahme oder selbst eine Abnahme des Isolationsvermögens; dies bietet den Schlüssel, um Mängel zu ermitteln, die auf andere Weise nicht wahrnehmbar sein würden.

Die gewöhnliche Methode der Messung des Leitungsvermögens und der Isolation von Leitungen durch die Nadelablenkungen gewöhnlicher Galvanometer würde für den vorliegenden Zweck ganz unzureichend sein.

Es war nöthig, das Leitungsvermögen sowohl des Leitungsdrahtes, wie der isolirenden Bedeckung in einfachen Zahlenwerthen nach Widerstandseinheiten auszudrücken.

Als Widerstandseinheit haben wir den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt, bei der Temperatur 0^0 gemessen, angenommen. Die Vortheile dieser Einheit sind von Werner Siemens in einem Aufsatze in Poggendorff's Annalen Bd. 110, S. 1 [1]) dargelegt.

Indem wir den Leitungswiderstand des Drahtes sowohl, wie den des isolirenden Mittels in einer bestimmten Widerstandseinheit ausdrücken, erlangen wir nicht nur den Vortheil einer genaueren Vergleichung zwischen den Resultaten verschiedener Messungen, sondern wir gewinnen auch, wenn später die einzelnen Drahtadern zu einem einzigen Kabel vereinigt sind, ein treffliches Mittel, den elektrischen Zustand derselben zu prüfen, indem wir, unter Beachtung der etwa obwaltenden Temperaturverschiedenheit, den Gesammtwiderstand des Leiters wie des isolirenden Mittels mit der Summe der früheren, bei Untersuchung der einzelnen Drahtadern gefundenen Widerstände, vergleichen.

Der Hauptvortheil dieses Systems von Messungen aber ist der, dass es die Möglichkeit bietet, später, nach der Einsenkung, in dem am Meeresgrunde liegenden Kabel den Ort einer etwa eingetretenen Beschädigung durch Strommessungen und Rechnung zu bestimmen.

Behufs der praktischen Ausführung dieses Systems von Prüfungen construirten wir zunächst Widerstandsrollen von bekannter Widerstandsgrösse, welche dergestalt mit einander verbunden werden können, dass der Gesammtwiderstand sich in den Grenzen von 1 bis 10 000 Einheiten beliebig ändern lässt.

Durch Einschaltung dieses änderbaren Widerstandes in einen

[1]) Vorschlag zu einem reproducirbaren Widerstandsmasse.

Zweig der Wheatstone'schen Brücke kann der Widerstand des Kupferdrahtes, sowie der der isolirenden Hülle eines Kabels von beträchtlicher Länge leicht bestimmt werden. Wenn es sich aber um Messung von Widerständen handelt, die jenseits jener Grenzen liegen, so geben wir der Wheatstone'schen Brücke eine etwas andere Anordnung, indem wir auch die festen Zweige derselben veränderlich machen.

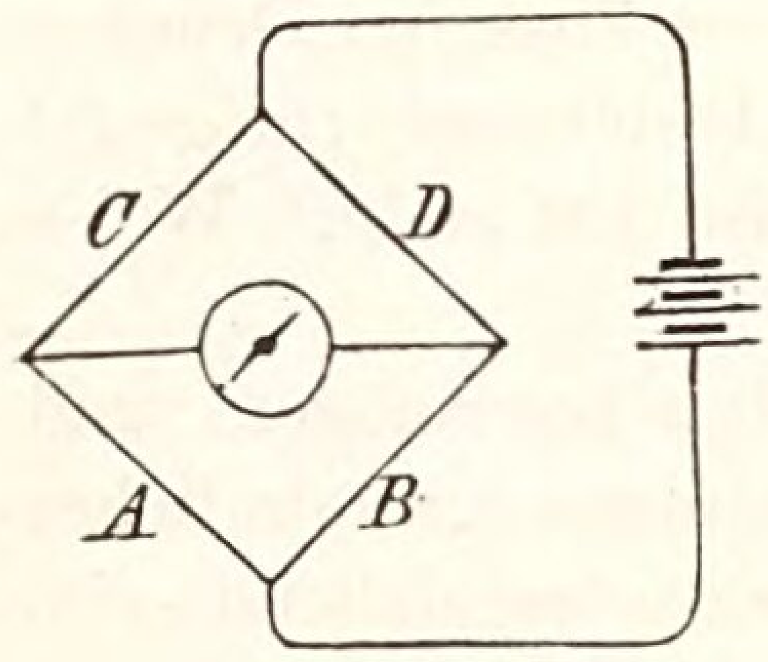


Fig. 19.

Seien *A*, *B*, *C*, *D* (Fig. 19) die 4 Zweige einer Wheatstone'schen Brücke, *AC* und *BD* sind die Verbindung mit dem Galvanometer, *AB* und *CD* mit den Polen der Batterie.

Bekanntlich besteht zwischen den Widerständen der 4 Zweige die Relation $\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$, wenn der Strom im Galvanometerzweige 0 ist, die Nadel des Instrumentes also in der Ruhelage bleibt. Bei der gewöhnlichen Anordnung pflegt nun $A = B$ zu sein, es wird also dann der unbekannte Widerstand *D* direct durch *C* gemessen. Ein an Stelle von *C* eingeschalteter veränderlicher Widerstand (Rheostat) von 1 bis 10 000 Widerstandseinheiten erlaubt also nur die Messung von Widerständen, welche innerhalb dieser Grenzen liegen. Wenn aber auch *A* und *B* veränderlich eingerichtet werden, so dass jedes derselben nach Belieben die Werthe 10, 100 oder 1000 erhalten kann, so sind wir im Stande, mit derselben Genauigkeit Widerstände zwischen 0,01 und 1 Million Einheiten zu messen. Durch diese Anordnung können wir den Widerstand von Kupferdrähten jeder Länge, sowie den Widerstand der Isolationsschicht langer Kabel bis auf 0,2 Procent genau bestimmen.

Für die Prüfung kurzer Kabelenden oder längerer Kabel, für welche besser isolirendes Material, wie etwa Kautschuk oder Wray's Mischung[1]) verwendet worden, ist indess diese Methode nicht mehr anwendbar; denn Widerstandsrollen von so bedeutender Verschiedenheit des Leitungswiderstandes, wie dann nöthig wären, können ohne Nachtheil für die Genauigkeit nicht angewendet werden, hauptsächlich deshalb, weil die dann erforderliche grössere Batteriestärke die kürzeren Zweige beträchtlich erwärmen und ihren Widerstand verändern würde, was erhebliche Fehler im Resultate veranlassen würde.

Es war daher nöthig, zur Messung des Widerstandes der isolirenden Schicht von kürzeren Kabelenden, etwa von 1 Knoten[2]) Länge, ein

[1]) Wray's Mischung besteht dem Vernehmen nach aus Kautschuk, Schellack und feinem Quarzpulver. Nach den von William Fairbairn im Jahre 1860 mit verschiedenen zur Isolirung submariner Kabel in Vorschlag gebrachten Materialien angestellten Versuchen übertraf diese Masse selbst Kautschuk.

[2]) Knoten am Logseile, Einheit bei der Bestimmung der Geschwindigkeit von Schiffen mittelst des Log = $^1/_4$ geogr. Meile.

anderes Verfahren anzuwenden. Wir benutzen für solche Zwecke eine sehr empfindliche Sinusbussole, oder, wenn die Localität es gestattet, ein Weber'sches Spiegelgalvanometer mit 40 000 Umwindungen und magnetischem Spiegel. Mit Hülfe eines regulirenden Magnets kann die Empfindlichkeit dieses Instruments im Verhältnisse von 1 : 100 verändert werden.

Da die Astaticität der Nadeln des Sinusgalvanometers Veränderungen unterworfen ist, so muss die Constante des Instrumentes während der Messungen zu wiederholten Malen bestimmt werden.

Die Ablesungen des Instrumentes nach Graden führen wir mittels der Formel

$$R = \frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} \cdot n$$

auf Widerstandseinheiten zurück; darin ist R der zu messende Isolationswiderstand, φ der abgelesene Nadelausschlag, $\sin \varphi'$ die Constante des Instrumentes und n die Anzahl der zur Batterie verwendeten Elemente. Die Herleitung dieser Formel findet man im ersten Anhange.

Dies Verfahren ist jedoch nur zur Messung grosser Widerstände innerhalb gewisser enger Grenzen anwendbar. Beim Fortschritt der Fabrication der Kabel nimmt aber, in dem Masse wie die Länge der Kabel wächst, der Isolationswiderstand fortwährend ab, und das Instrument würde bald zu empfindlich sein. Man könnte es allerdings in gleichem Masse unempfindlicher machen, aber indem man damit fortführe, würde es schliesslich nicht mehr empfindlich genug sein, um den Widerstand der letzten an die Kabel gehängten Drahtader mit Genauigkeit zu messen. Es musste also auf ein Mittel gedacht werden, um die ursprüngliche Empfindlichkeit des Messinstrumentes unverändert zu erhalten, wenn auch der Widerstand allmählich abnimmt. Zu dem Ende wurde über die Drahtwindungen der Sinusbussole noch eine zweite Lage von verhältnissmässig wenigen Windungen gelegt, und durch diese permanent der Strom einer kleinen constanten Batterie geleitet. Der zur Prüfung der Isolation dienende Strom geht durch die inneren, ursprünglichen Umwindungen des Instrumentes; der Strom in den äusseren Windungen geht in entgegengesetzter Richtung und wird durch Einschaltung von Widerständen so regulirt, dass er die Einwirkung des anderen auf die Magnetnadel gerade aufhebt, diese also in der Ruhelage verbleibt.

Wächst die Länge des Kabels, so muss der Widerstand in der Kette der äusseren Umwindungen so weit vermindert werden, bis das Gleichgewicht an der Nadel wieder hergestellt ist, und da der Werth der Widerstandsänderung in Einheiten bekannt ist, so braucht man diese Zahl nur mit dem festen Verhältniss zwischen den Einwirkungen beider Umwindungen auf die Nadel zu multipliciren, um das gewünschte Resultat zu erhalten.

Sei mit Bezug auf Fig. 20 W der Widerstand der inneren Umwindungen der Sinusbussole, W' der ihnen hinzugefügte Widerstand, m die Anzahl der Elemente der Batterie, welche in diesen Kreis ein-

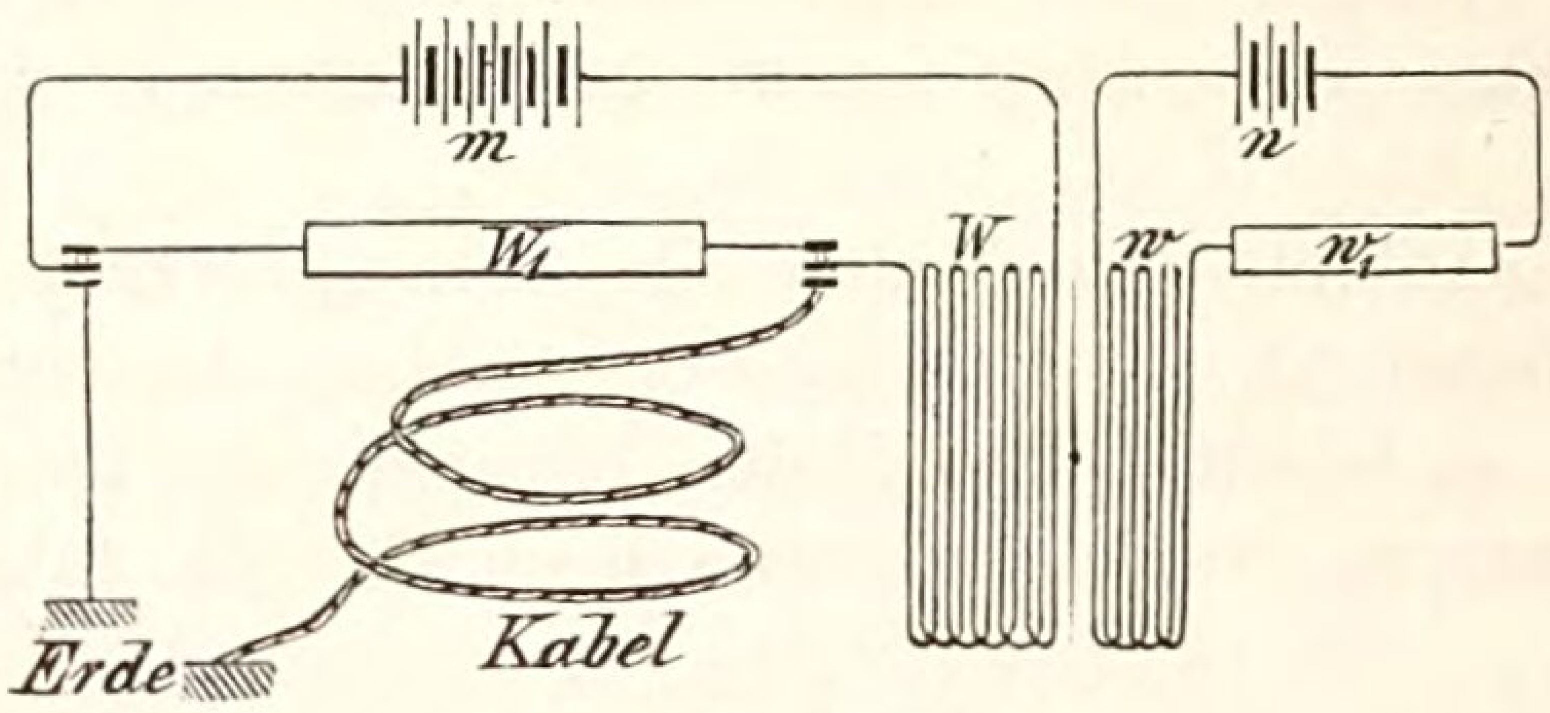


Fig. 20.

geschaltet ist; ferner w der Widerstand der äusseren (Hülfs-) Umwindungen [1]), w' der in diesen Kreis eingeschaltete Widerstand und n die Anzahl der Elemente der zugehörigen Batterie; endlich K ein Zahlencoëfficient, welcher das constante Verhältniss zwischen den Einwirkungen beider Umwindungen auf die Nadel darstellt. Alsdann haben wir:

$$\frac{n}{w+w'} K = \frac{m}{W+W'} \text{ oder } K = \frac{m}{n} \cdot \frac{w+w'}{W+W'}.$$

Wird an Stelle von W' jetzt der unbekannte Widerstand x des Kabels eingeschaltet, und w' so verändert (in V), dass die Nadel wieder in die Ruhelage gelangt, so ist, wenn der grösseren Allgemeinheit wegen angenommen wird, dass die Zahl der Elemente in den Batterien auch nicht mehr dieselbe sei wie zuvor, sondern resp. M und N:

$$\frac{M}{W+x} = K \cdot \frac{N}{w+V} \text{ oder } x = \frac{1}{K} \cdot \frac{M}{N} \cdot (w+V) - W$$

und nach Einführung des obigen Werthes von K

$$x = \frac{M}{N} \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{W+W'}{w+w'} (w+V) - W.$$

Der Hauptvortheil dieser Anordnung besteht darin, dass die Empfindlichkeit des Instrumentes ungeändert bleibt, da der durch die Isolationsschicht gehende Strom stets mit seiner ganzen Stärke auf die Nadel wirkt, während diese jedoch stets auf o zurückgeführt wird. Bei der Messung des Isolationswiderstandes kurzer Kabelenden, wo dieser Widerstand also sehr gross ist, kann der Widerstand der beiden Umwindungen des Instrumentes, W und w, vernachlässigt werden und man kann sich alsdann der abgekürzten Formel

$$x = \frac{M}{N} \cdot \frac{V}{K}$$

bedienen. Der Coëfficient K ist unabhängig von der Empfindlichkeit des Instrumentes und braucht nur ein für alle mal bestimmt zu werden.

[1]) In Fig. 20 sind die Umwindungen, der grösseren Deutlichkeit wegen, nicht über, sondern neben die anderen gezeichnet.

Die Versuche sind somit auf eine sehr leichte und einfache Methode zurückgeführt.

Um den Isolationswiderstand isolirter Drähte aus dem specifischen Leitungsvermögen der verwendeten Materialien zu berechnen, und umgekehrt, benutzen wir die Formel:

$$W = \frac{C \log \text{nat} \frac{R}{r}}{2 \pi l . \lambda},$$

deren Herleitung von Werner Siemens in Poggendorff's Annalen Jahrg. 1857 veröffentlicht worden und im Anhange II im Auszuge mitgetheilt ist.

Diese Methode reicht zur Bestimmung des Widerstandes der isolirenden Schicht und des Leitungsdrahtes bei Kabeln von allen Längen aus; sie umfasst aber nicht die zur Bestimmung ihres Vertheilungsvermögens nöthigen Versuche.

Neuere Versuche, die weiter unten mitgetheilt werden sollen, haben dargethan, dass das specifische Vertheilungsvermögen isolirender Körper von weit grösserer Beständigkeit ist, als ihre specifische Leitungsfähigkeit. Das Vertheilungsvermögen ist überdies unabhängig von localen Fehlern der Isolirschicht und hängt wesentlich von der geometrischen Gestalt des Isolators ab. In der Messung des Vertheilungsvermögens einer gegebenen Länge des Kabels und Vergleichung des Resultates mit dem mittleren Vertheilungsvermögen des angewendeten Materials hat man daher ein Mittel, mit grosser Sicherheit zu entscheiden, ob das isolirende Material auf der ganzen Länge in gleicher Stärke um den Leitungsdraht gelegt ist, oder ob dieser theilweise excentrisch liegt. Die Kenntniss des Vertheilungsvermögens eines Kabels ist überdies unerlässlich, um im Falle, dass ein Bruch des Leitungsdrahtes vorkommt, bei welchem das Bruchende isolirt bleibt, die Lage des Fehlers bestimmen zu können.

Nach Faraday's Ansicht wird die vertheilende Wirkung, etwa von der inneren Belegung einer Leydener Flasche nach der äusseren, von Atom zu Atom durch das dielektrische Mittel fortgepflanzt. In unserem Falle ist die Leydener Flasche durch das Kabel dargestellt, dessen innere Belegung von der Oberfläche des Kupferdrahtes, die äussere aber vom Wasser gebildet wird.

Die Gesetze der Bewegung von Wärme und Elekricität in Leitern sind folglich direct anwendbar auf die elektrische Vertheilung, und es kann daher das Vertheilungsvermögen ausgedrückt werden durch das Product aus dem Leitungsvermögen und einem constanten Factor, dessen Werth von der Natur des isolirenden Materials abhängt.

Diesem Gesichtspunkte gemäss haben wir für das Vertheilungsvermögen irgend eines bekleideten Drahtes die Formel:

$$K = \frac{2 \pi l . J}{\log \text{nat} \frac{R}{r}} \cdot C,$$

worin das specifische Leitungsvermögen λ der vorigen Formel durch das specifische Vertheilungsvermögen J ersetzt wird. Einheit des Vertheilungsvermögens ist das einer Leydener Flasche, deren Belegungen eine Oberfläche von je 1 Quadrateinheit besitzen und in der Entfernung einer Längeneinheit einander gegenüberstehen.

Professor W. Thomson ist auf einem directen und sehr eleganten Wege zu einer Formel gelangt, welche von der obigen nur durch den Werth der Constanten abweicht; ein Zeichen, dass er von einer anderen Einheit ausgegangen. Werner Siemens' Herleitung der Formel ist im schon erwähnten Aufsatze in Poggend. Annalen Bd. CII ausführlich dargelegt.

In Anwendung auf cylindrische Flaschen oder auf Kabel nimmt die Formel die einfache Gestalt an:

$$K = \frac{J \cdot G}{\log \text{nat} \frac{R}{r}}.$$

Bei unseren Versuchen messen wir das Vertheilungsvermögen der Leydener Flasche durch die Ablenkung einer Galvanometernadel. Wenn die Ablenkung der Nadel durch einen Strom von sehr kurzer Dauer herbeigeführt wird, so ist die durch das Galvanometer gegangene Elektricitätsmenge gleich

$$K = \frac{1}{E} \sin \tfrac{1}{2} A.$$

In der Praxis erweist es sich als sehr schwierig, den plötzlichen Ausschlag einer Nadel mit genügender Genauigkeit abzulesen. Wir wenden daher ein Instrument an, welches eine rasche Aufeinanderfolge von Ladungs- oder Entladungsströmen zu erzeugen erlaubt, welche, durch das Galvanometer geführt, eine stetige Ablenkung der Nadel hervorbringen, die leicht und mit grosser Sicherheit abgelesen werden kann. Der Werth dieser Ablenkungen wird nach folgender Formel berechnet:

Ist A der Winkel, um welchen der Theilkreis der Sinusbussole gedreht worden, um die Nadel wieder auf o zu bringen, C die Anzahl der Ladungs- oder Entladungsschläge in der Secunde, E die elektromotorische Kraft der Batterie, so haben wir:

$$K = \frac{1}{E} \cdot C \cdot \sin A \text{ [1]},$$

oder wenn K' das Vertheilungsvermögen der zur Vergleichungseinheit gewählten Leydener Flasche und A' die dem entsprechende Nadelablenkung ist:

$$K = K' \cdot \frac{\sin A}{\sin A'}.$$

[1]) In diesem Falle wird die Stärke der Ladung durch eine constante Ablenkung der Galvanometernadel gemessen, und deshalb durch sin A dargestellt; während sie oben, wo der erste Ausschlag benutzt wurde, gleich sin $\frac{1}{2} A$ zu setzen war.

Mit Erlaubniss der britischen Regierung haben wir die auf Anordnung derselben angefertigten Versuchskabel nach diesen Formeln dem Versuch unterworfen.

Die Resultate dieser Messungen, welche im Anhang III zusammengestellt sind, thun die Genauigkeit der angewendeten Methode befriedigend dar. Sie beweisen auch, dass die benutzte Formel für das specifische Vertheilungsvermögen, welche von Prof. William Thomson und Werner Siemens auf ganz verschiedenen Wegen gefunden worden, in der Praxis mit voller Sicherheit angewendet werden kann.

Es fand sich, dass das specifische Vertheilungsvermögen bei allen mit Guttapercha bekleideten Drähten nahe dasselbe und vollkommen unabhängig von ihrem specifischen Leitungsvermögen ist, während Kautschuk und Mischungen, worin es enthalten ist, ein weit geringeres Vertheilungsvermögen besitzen. Wenn das specifische Vertheilungsvermögen der Guttapercha = 1 gesetzt wird, so ist das des Kautschuks nur 0,7 und das von Wray's Mischung nur 0,8.

Wir haben noch die häufig angewendeten Methoden zu erwähnen, bei welchen mittels eines empfindlichen Elektrometers die Abnahme der elektrischen Spannung in dem nach einer starken Ladung sich selbst überlassenen Kabel bestimmt wird.

Bezeichne E die elektrische Spannung einer mit dem Kabel verbundenen Batterie, wie sie an einem Sinuselektrometer beobachtet wird, y die nach Verlauf der Zeit t noch zurückgebliebene Spannung, K den Vertheilungscoëfficienten und W den Widerstand der isolirenden Schicht; dann wird während des Zeitintervalles von t bis $t + dt$ nach dem Ohm'schen Gesetze ein Entladungsstrom $\frac{y}{w}$ stattfinden, durch welchen sich die Spannung um dy vermindert. Dies giebt die Gleichungen:

$$- K \,.\, dy = \frac{y}{W} \cdot dt, \; - \frac{dy}{y} = \frac{dt}{K \,.\, W} \text{ und daher } C - \log \text{nat}\, y = \frac{t}{K \,.\, W},$$

ferner, da für $t = o$, $y = E$, die Integrationsconstante C also = log nat E sich ergiebt,

$$\log \text{nat} \frac{E}{y} = \frac{t}{K \,.\, W} \text{ oder } \frac{E}{y} = e^{\frac{t}{K \,.\, W}} \text{ und } y = E \,.\, e^{-\frac{t}{K \,.\, W}}.$$

In einem normalen Kabel ist

$$K = \frac{2\, l\, \pi \,.\, J}{\log \text{nat} \frac{R}{r}} \text{ und } W = \frac{\log \text{nat} \frac{R}{r}}{2\, \pi\, l \,.\, \lambda} \text{ oder } K W = \frac{J}{\lambda},$$

und deshalb:

$$\log \text{nat} \frac{E}{y} = \frac{t \,.\, \lambda}{J} \text{ oder } \lambda = \frac{J}{t} \cdot \log \text{nat} \frac{E}{J}.$$

Dies ergiebt endlich die Proportion:

$$\lambda : J = \log \text{nat} \frac{E}{J} : t.$$

Diese Methode ist sehr geeignet, den specifischen Widerstand des isolirenden Materials zu bestimmen und die Isolation zweier ähnlicher Kabel zu vergleichen, selbst wenn kein zur genauen Messung geeignetes Instrument zur Hand ist. Es genügt, die Zeit zu beobachten, in welcher die ursprüngliche Spannung bis zu einer gegebenen Grösse herabsinkt. Da alsdann der Bruch $\frac{E}{y}$, wenn auch seinem Werthe nach unbekannt, doch stets derselbe ist, so folgt aus den obigen Formeln

$$\frac{\lambda \,.\, t}{J} = \frac{\lambda_{,} \,.\, t_{,}}{J} \quad \text{oder} \quad \frac{\lambda}{\lambda_{,}} = \frac{t_{,}}{t},$$

wo also $\lambda_{,}$ und $t_{,}$ die specifischen Leitungsvermögen und die beobachteten Zeiten in beiden Versuchen sind.

Dies Resultat ist unabhängig davon, ob der Draht vollkommen centrisch in der isolirenden Bedeckung liegt, oder ob er stellenweise eine excentrische Lage hat. Diese Beobachtungsweise ist daher sehr geeignet zur Bestimmung des specifischen Widerstandes des Isolirungsmaterials; aber da es auch nöthig ist, zu ermitteln, ob der Draht in der ganzen Länge des Kabels gehörig excentrisch in der Bekleidung liegt, so darf sie nicht ausschliesslich angewendet werden. Ueberdies nimmt der Versuch bei gut isolirten Kabeln viel Zeit in Anspruch. Gegen die ausschliessliche Anwendung dieser Methode spricht auch der Umstand, dass bei derselben kleine Fehler in langen Kabeln leicht der Beobachtung entgehen, weil der Elektricitätsverlust durch dergleichen Fehler sehr klein ist gegen die ganze Ladung.

Wir ziehen es daher vor, den Spannungsverlust nicht durch das Elektrometer zu bestimmen, sondern dadurch, dass die Ladung a und nach Verlauf einer Minute die Entladung b mit dem Galvanometer gemessen wird. Wir haben dann den Verlust an Quantität oder Spannung während einer Minute:

$$L = 1 - \frac{b}{a}.$$

Zur Verknüpfung dieser Formel mit dem eben entwickelten System hat man sich nur zu erinnern, dass $\frac{b}{a} = \frac{y}{E}$ ist.

Wenn die Kabel von den ersten Stadien der Fabrication an (in Enden von 1 Knoten Länge), dann beim Zusammenspinnen und Ueberziehen und endlich beim Auslegen in die See geprüft werden, so müssen diese Versuche einander streng controliren; sie müssen daher systematisch aufgezeichnet werden. Beim Auslegen muss das Hauptaugenmerk darauf gerichtet sein, auch die leichteste Aenderung der Isolation sogleich zu entdecken, damit die Legemaschinerie alsbald angehalten werden kann. Es ereignet sich indess bisweilen, dass ein Fehler nicht sofort bei der Legung hervortritt. Wenn daher ein Fehler wahrnehmbar wird, so ist es nothwendig, zunächst seine genaue Lage zu berechnen, ehe irgend

welche Massregeln zur Ausbesserung getroffen werden. Zu dem Ende muss dann das Kabel von beiden Enden aus, d. h. vom Schiffe und von der Landstation aus, geprüft werden; denn die Messung von einer Seite aus giebt nur das Maximum der Entfernung des Fehlers an.

Beim Auslegen des Kabels stellen wir die Prüfungen nach folgendem Plane an:

Auf der Landstation befindet sich ein Uhrwerk, welches das Ende des Kabels abwechselnd kurze Zeit mit der Erde, dann mit dem Pole einer Batterie in Verbindung setzt und dann einige Zeit isolirt hält.

Auf dem Schiffe ist beständig ein Widerstandsmessapparat mit der Linie verbunden. Durch Herstellung des Gleichgewichts auf der Wheatestone'schen Brücke ist der leitende Elektriker im Stande, abwechselnd den Widerstand der Isolationsschicht und den des Leitungsdrahtes zu bestimmen. Aus letzterem lässt sich auf die Continuität des Leiters schliessen.

Der Beamte auf der Station beobachtet ebenfalls diese beiden Daten und theilt sie telegraphisch dem Schiffe mit. Wenn diese vier Daten erheblich von einander abweichen, so ist dadurch das Vorhandensein eines Fehlers indicirt, dessen Lage durch Rechnung aus den beobachteten Daten gefunden werden kann. Diese Methode von Beobachtungen über den Zustand des Kabels ist zwar sehr ermüdend für die damit beschäftigten Ingenieure, hat sich aber beim Legen des Kabels nach Indien als sehr zweckentsprechend erwiesen. Während der Legung der Section Aden-Kurrachee seitens der Herren R. S. Newall & Co. waren wir durch diese Beobachtungsmethode im Stande, in fünf verschiedenen Fällen Fehler zu ermitteln, die dann ohne Aufenthalt beseitigt werden konnten.

Unsere Methode zur Bestimmung der Lage eines Fehlers ist folgende:

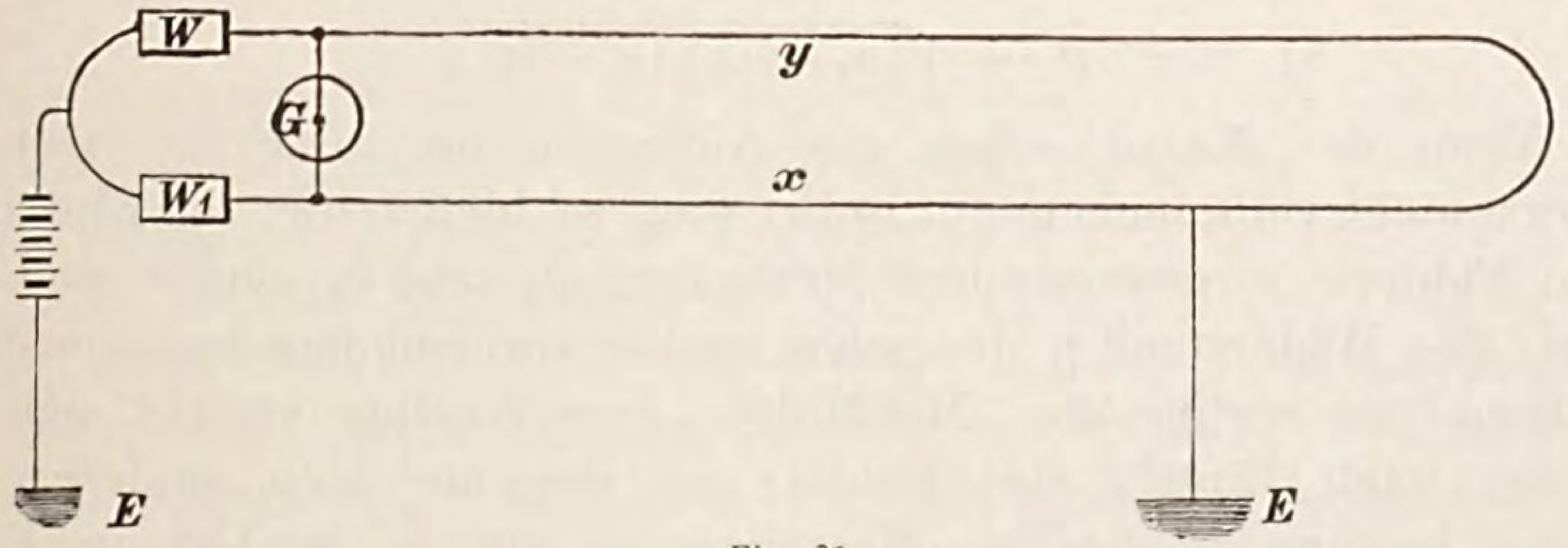


Fig. 21.

1) Wenn beide Enden des Kabels zur Hand sind, so mögen x und y (Fig. 21) die Abstände des Fehlers von diesen beiden Enden, $l = x + y$ die Länge des ganzen Kabels bezeichnen. G ist ein Galvanometer; W und W_1 sind zwei Rheostaten. Wenn dann W und W_1 so regulirt werden, dass die Galvanometernadel in

der Ruhelage verbleibt, so wird die Lage des Fehlers gegeben durch die Formel:

$$1)\quad x = \frac{l \,.\, W}{W + W_1}.$$

Dies ist im Wesentlichen dieselbe Methode, die unser Bruder C. Siemens in der Zeitschrift des D. Oestr. Tel.-V. Jahrg. 1858, S. 13 veröffentlicht hat und die wir schon seit 1848 mit bestem Erfolge anwenden.

2) Handelt es sich um eine einfache versenkte Leitung, so ist diese Methode nicht mehr anwendbar. Sei c der Widerstand der ganzen Länge des Kabels, x und y die Widerstände vom Fehler bis zu beiden Enden, Z der Widerstand des Fehlers selbst; a_1 und b_1 die Widerstände, welche von beiden Enden gemessen werden, während die respectiven anderen Enden isolirt sind, und a und b die entsprechenden Widerstände, wenn die resp. anderen Enden mit der Erde verbunden sind. Dann haben wir nach dem Ohm'schen Gesetz die folgenden Gleichungen:

$$c = x + y \qquad a_1 = x + Z \qquad b_1 = y + Z$$

$$a = x + \frac{Z \,.\, y}{Z + y} \text{ und } b = y + \frac{Z \,.\, x}{Z + x}.$$

Durch Elimination von y und Z finden sich für x folgende Ausdrücke:

$$2)\quad x = \frac{a_1 - b_1}{2} + \frac{c}{2}$$

$$3)\quad x = a \cdot \frac{c - b}{a - b} \cdot \left\{ 1 - \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{c - a}{c - b}} \right\}$$

$$4)\quad \frac{x}{y} = \sqrt{\frac{a}{b} \cdot \frac{c - a}{c - b}}$$

$$5)\quad x = a - \sqrt{(a_1 - a)(c - a)}.$$

Wenn das Kabel schon vor Auftreten des in Frage stehenden Fehlers nicht vollkommen gut isolirt war, so bieten die vor Eintritt des neuen Fehlers vorgenommenen Messungen a_1 und b_1 und a und b ein Mittel, den Widerstand γ des schon vorher vorhandenen Isolationsfehlers annähernd zu bestimmen. Mit Hülfe dieses Werthes ergiebt sich dann aus den nach Eintritt des Fehlers an der am resp. anderen Ende isolirten Leitung angestellten Messungen a_2 und b_2 der Ort des Fehlers folgendermassen:

$$6)\quad x = a_1 - \gamma \sqrt{\frac{a_1 - a_2}{b_1 - b_2}}.$$

Bei allen diesen Versuchen muss die Batteriestärke so regulirt werden, dass die Polarisation an der Fehlerstelle stets möglichst gleich sei. Zu dem Ende wird durch vorläufige Messungen zunächst der Ort

des Fehlers annähernd bestimmt, und dann für die eigentliche Messung die Zahl der Elemente in den Batterien so regulirt, dass der von der einen oder von der anderen Seite her durch die Fehlerstelle zur Erde gehende Strom stets nahe dieselbe Stärke hat; bei der Beobachtung selbst muss man abwarten, bis die Polarisation ihr Maximum erreicht hat. Auf die letzgedachte Formel legen wir einen besonderen Werth, weil sie allein uns in den Stand setzt, neue Fehler in einem alten schon fehlerhaften Kabel zu ermitteln, wenn nur sein vorheriger Isolationszustand bekannt ist. Die darauf bezüglichen Daten fehlen freilich unglücklicher Weise bei fast allen bisher gelegten Kabeln. Für die Linie Rangoon-Singapore schlagen wir vor, jede Station mit einem vollständigen Untersuchungsapparat zu versehen, und nach der Legung des Kabels tägliche Messungen ihrer Isolation und Leitungsfähigkeit auf allen Sectionen anstellen zu lassen. Berichte über diese Messungen wären dann dem leitenden Oberingenieur täglich einzusenden.

Die leichte Zerstörbarkeit der Guttapercha gab damals Anlass zu verschiedenen Versuchen, diesen Körper bei submarinen Kabeln durch Kautschuk, theils rein, theils in Mischungen mit anderen Stoffen, zu ersetzen; Versuche, welche wegen des höheren Isolationsvermögens und der geringeren Vertheilungsfähigkeit des Kautschuk und vor Allem wegen seiner grösseren Homogenität und seiner geringeren Empfindlichkeit gegen Hitze wichtige Resultate für die Dauerhaftigkeit der Telegraphenkabel zu liefern versprachen.

Die Hauptschwierigkeit lag darin, das Kautschuk so zu bearbeiten, dass man einen gleichförmigen und vollkommenen Ueberzug auf dem Leitungsdrahte erhielt, ohne dass das Material selbst dabei Schaden erlitt. Wir versuchten diese Schwierigkeit durch Construction einer Maschine zu heben, welche der British Association vorgezeigt wurde. Auch von anderen Seiten ist Wichtiges auf diesem Felde geleistet worden.

Der Hauptzweck dieser Mittheilungen war der, zu zeigen, dass, wenn auch die submarinen Telegraphenlinien wegen der Unzulänglichkeit der damaligen Erfahrungen und wegen der zu geringen Sorgfalt, welche man bei der Fabrication auf die Vermeidung von Fehlern verwendete, von häufigen Unfällen betroffen wurden, die dabei gesammelten Erfahrungen doch nicht verloren gingen; und dass, indem man den zunehmenden Umfang der Kenntnisse für den Gegenstand nutzbar machte, vollkommenere Erfolge nicht ausbleiben konnten.

Die britische Regierung lieferte durch Förderung dieser Untersuchungen, durch Aufmunterung und Leitung der Bemühungen Einzelner, den Beweis, dass England den Nutzen submariner Telegraphenlinien vollkommen begriff und sie zu realisiren entschlossen war.

Anhang I.

Isolationswiderstand kurzer Kabel.

Wenn ein Pol einer Batterie von n Elementen mit dem Kabel, der andere aber mit der Erde verbunden ist, und φ den Winkel bezeichnet, um den die Windungen der Sinusbussole gedreht worden, um die Nadel wieder auf den Nullpunkt der Theilung zu bringen, so besteht folgende Gleichung

$$\sin \varphi = \frac{n E}{x + w_1},$$

worin E die elektromotorische Kraft eines Elementes, w_1 der Widerstand des Galvanometers und x der unbekannte Widerstand des Kabels.

Um den Isolationswiderstand auf ein bestimmtes Mass zurückzuführen, wird ein bekannter Widerstand u, ungefähr von 10 000 Einheiten, statt des Kabels in die Kette eingeschaltet, die Empfindlichkeit des Instrumentes durch eine Nebenschliessung vom Widerstandswerthe W_2 geschwächt (etwa auf $\frac{1}{100}$) und die Zahl der Elemente auf eins vermindert. Man erhält dann für den Gesammtstrom in der Kette J den Ausdruck

$$J = \frac{E}{u + \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}}$$

und für den durch das Galvanometer gehenden Zweigstrom i_1:

$$i_1 = \sin \varphi_1 = \frac{W_2}{W_1 + W_2} \cdot \frac{E}{u + \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}},$$

oder, da $W_1 = 99 W_2$

$$i_1 = \sin \varphi_1 = \frac{E}{100} \cdot \frac{1}{u + \frac{99}{100} \cdot W_2}.$$

$\frac{99}{100} \cdot W_2$ ist bei unserem Instrument gleich 70 Einheiten; nehmen wir diesen Werth an, und wählen den bekannten eingeschalteten Widerstand nicht genau zu 10 000, sondern zu 9930 Einheiten, so haben wir:

$$\sin \varphi_1 = \frac{E}{100} \cdot \frac{1}{10\,000} = \frac{E}{1\,000\,000}.$$

Eliminiren wir E zwischen dieser und der ersten Gleichung und vernachlässigen den Widerstand W_1 des Galvanometers neben x, so gelangen wir schliesslich zu dem Ausdruck

$$x = 1\,000\,000\, n \,.\, \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi}.$$

Anhang II.

Specifischer Widerstand der Isolationsschicht; Herleitung der betreffenden Formel.

Werner Siemens gelangte auf einem einfachen Wege zu derselben Formel, welche Prof. William Thomson anderweitig durch Rechnung gefunden.

Bezeichnet dx die Dicke eines Cylinderdifferenentials im Abstande x von der Längenachse, so ist sein Widerstand

$$d\,w = \frac{d\,x}{2\,\pi\,\lambda\,.\,l\,x},$$

und der ganze Widerstand:

$$W = \frac{1}{2\,\pi\,l\,\lambda}\int_r^R \frac{d\,x}{x} = \frac{\log\,\mathrm{nat}\,\frac{R}{r}}{2\,\pi\,l\,\lambda}.$$

Anhang III.

Resultate der Messungen des specifischen Vertheilungscoëfficienten.

In der folgenden Tafel sind die Resultate der angestellten Messungen des specifischen Vertheilungsvermögens zusammengestellt. Die Bedeutung der einzelnen Columnen dieser Tabelle ist folgende:

Die 2te Spalte enthält die Bezeichnung der Kabel hinsichtlich des Isolationsmaterials und die Marke der untersuchten Kabelprobe; die 3te deren Länge; in der 4ten, 5ten und 6ten Spalte findet man den äusseren und inneren Radius der Isolirschicht und das Verhältniss $\frac{R}{r}$; die 7te Spalte giebt die Temperatur des Wassers, in welchem das Kabel lag; die 8te die Anzahl der beim Versuch benutzten Batterie-Elemente; die 9te Spalte enthält den Winkel φ, um welchen die Sinusbussole gedreht worden, um die Nadel in die Ruhelage zurückzuführen; die 10te: die Constante des Instrumentes; die 11te: die gemessene Ladung, reducirt auf die Längeneinheit und ein Element; in der 12ten endlich finden sich die aus den Beobachtungen berechneten specifischen Vertheilungscoëfficienten der verschiedenen Substanzen, den mittleren Vertheilungscoëfficienten der Guttapercha gleich 1 gesetzt.

Nr.	Kabel Material und Marke		Länge m engl. Meile y Yards	Radius innerer r	äusserer R	$\frac{R}{r}$	Temperatur F.	Zahl der Elemente (Spannung).	Ablenkung φ.	Constante des Instrumentes.	Ladung $\frac{\sin \varphi}{n \cdot l}$	Spec. Verth. Coëff. $\frac{\log nat \frac{R}{r}}{2 \pi l} \cdot C$ (GuP. = 1)
1	Guttapercha	A	½ m	4	16	4	51	7	20,3	1	9,92	1,06
	=	=	=	—	—	—	72	5	25	1,7	9,82	1,07
2	=	B	½ m	—	—	—	51	7	20,1	1	9,9	1,06
3	=	$A+B$	1 m	—	—	—	—	7	43,4	1	9,8	1,05
	=	=	=	—	—	—	—	5	29,1	1	9,7	1,04
	=	=	=	—	—	—	—	3	16,5	1	9,5	1,02
4	=	A	½ m	2	14	7	—	7	14,5	1	7,14	1,07
5	=	B	½ m	—	—	—	—	—	14,2	—	7,0	1,05
6	=	$A+B$	1 m	—	—	—	—	—	28,5	—	6,8	1,048
7	=	A	½ m	—	10	2,5	—	3	12,3	—	14,2	1
8	=	B	½ m	—	—	—	—	3	12,2	—	14,2	1
9	=	C	½ m	—	—	—	—	3	12,5	—	14,4	1,002
	=	=	=	—	—	—	72	3	15,4	1,7	14,5	1,003
10	=	D	½ m	—	—	—	51	3	12,5	1	14,4	1,002
	=	=	=	—	—	—	72	2	15,4	1,7	14,5	1,003
11	=	$A+B$	1 m	—	—	—	51	3	25,6	1	14,4	1,0
12	=	$A+B+C$	½ m	—	—	—	—	—	40,3	—	14,4	1,0
13	=	$A+B+C+D$	2 m	—	—	—	—	—	61,0	—	14,38	0,999
14	=	A	1 m	2	8	4	—	—	16,2	1	9,3	1
	=	=	=	—	—	—	72	2	17,8	1,7	9,4	1,2
15	=	B	1 m	—	—	—	51	3	16,6	1	9,5	1,208
	=	=	=	—	—	—	72	—	31,1	1,7	9,4	0,99
	=	=	=	—	—	—	92	—	25,9	1,45	9,4	0,99
16	=	$A+B$	2 m	—	—	—	51	—	34,6	1	9,38	1,003
17	=	A	1 m	1	7	7	51	3	11,4	1	6,58	0,99
	=	=	=	—	—	—	72	—	20,6	1,7	6,4	0,99
	=	=	=	—	—	—	92	—	17,7	1,45	6,5	1,2
18	=	B	1 m	—	—	—	51	—	11,4	1	6,58	0,99
	=	=	=	—	—	—	72	5	31,8	1,7	6,49	1
19	=	$A+B$	2 m	—	—	—	51	3	22,8	1	6,47	0,98
20	=	A	1 m	1	4	4	51	—	16,	1	9,18	0,99
	=	=	=	—	—	—	72	2	19,4	1,7	9,2	1,02
21	=	B	1 m	—	—	—	51	3	16	1	9,18	0,99
	=	=	1 m	—	—	—	72	5	28,4	1,7	9,2	0,99
	=	=	=	—	—	—	92	3	24,6	1,45	9,19	0,98
22	=	$A+B$	2 m	—	—	—	51	3	32,8	1	9,03	0,97
23	=	A	½ m	1	13	13	—	—	4,8	—	5,6	1,12
	=	=	=	—	—	—	72	5	16,2	1,7	5,5	1,09
	=	=	=	—	—	—	92	5	14,9	1,45	5,5	1,09
24	=	B	½ m	—	—	—	51	3	4,8	1	5,6	1,12
25	=	C	½ m	—	—	—	—	—	4,8	1	5,6	1,12
26	=	D	½ m	—	—	—	—	—	4,8	—	5,6	1,12
27	=	$A+B$	1 m	—	—	—	—	—	9,2	—	5,3	1,10
28	=	$A+B+C$	1½ m	—	—	—	—	—	13	—	5,2	1
29	=	$A+B+C+D$	2 m	—	—	—	—	—	17,9	—	5,12	1,1
30	Hearder	=	450 y	2	6	3	—	—	5	—	13	1,24
31	Wray	A	1 m	1	7	7	—	5	15	—	5,17	0,77
	=	=	=	—	—	—	72	3	16,1	1,7	5,2	0,625
	=	=	=	—	—	—	92	3	—	1,45	5,4	0,96
	=	=	=	—	—	—	51	—	8,8	1	5,1	0,77

Nr.	Kabel: Material und Marke		Länge m engl. Meile y Yards	Radius: innerer r	äusserer R	$\frac{R}{r}$	F. Temperatur	Zahl der Elemente (Spannung).	Ablenkung φ.	Constante des Instrumentes.	Ladung $\frac{\sin\varphi}{n \cdot l}$	Spec. Verth. Coëff. $\frac{\log \text{nat} \frac{R}{r}}{2\pi l} \cdot C$ (GuP. = 1)
32	Silver	*B*	1 m	1	6,2	6,2	51	5	13,9	1	4,8	0,67
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	14,5	1,7	4,9	0,696
	〃	〃	〃	—	—	—	92	—	12,6	1,45	5	0,705
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	14,2	1	4,8	0,68
	〃	〃	〃	—	—	—	72	—	18,1	1,7	4,8	0,619
33	〃	*C*	1 m	1	7,2	7,2	51	—	12,8	1	4,45	0,66
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	12,9	1,7	4,3	0,518
	〃	*C*	1 m	1	7,2	7,2	92	3	11,6	1,45	4,7	0,696
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	13	1	4,5	0,69
34	〃	*C+B*	2 m	—	—	—	—	5	27,6	1	4,65	0,69
	〃	〃	〃	—	—	—	—	—	27,6	—	4,65	0,69
35	Hall u. Wells	*A*	1 m	1	4	4	51	5	34,6	1	11,3	1,21
	〃	〃	〃	—	—	—	72	1½	18,6	1,6	11,6	1,38
	〃	〃	〃	—	—	—	92	3	32,9	1,6	11,6	1,32
36	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	35,2	1	11,5	1,21
	〃	*B*	1 m	—	—	—	—	—	25	1	8,45	0,92
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	26,8	1,7	8,5	0.91
	〃	〃	〃	—	—	—	92	3	23,8	1,45	8,5	0,997
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	24,2	1	8,2	0,92
37	Hughes	*A*	1 m	1	6	6	51	5	16,4	1	5,66	0,83
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	17,8	1,7	5,67	0,84
	〃	〃	〃	—	—	—	92	3	16,2	1,45	5,65	0,88
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	16,6	1	5,66	0,83
38	Manycoatings	*A*	1 m	1	7	7	51	5	19,3	1	6,61	1,0
	〃	〃	〃	—	—	—	—	—	—	1	6,61	1,0
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	20,2	1,7	6,62	1,03
	〃	〃	〃	—	—	—	92	—	17,7	1,45	6,62	1,04
39	Gut.Per.spec.	*A*	1 m	1	4	4	51	5	21,2	1	7,23	0,74
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	20,6	1,7	7,23	0,74
	〃	〃	〃	—	—	—	92	—	18,1	1,45	7,3	0,766
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	21,4	1	7,29	0,445
40	〃	*B*	1 m	—	—	—	—	—	20,2	1	6,9	0,74
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	20,9	1,7	6,93	0,754
	〃	〃	〃	—	—	—	92	—	18,4	1,45	6,9	0,75
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	20,3	1	6,95	0,74
41	〃	*C*	1 m	1	7	7	51	—	90,4	—	—	0,74
42	Radcliff	*A*	1 m	1	7	7	51	5	21,2	1,7	7,23	1,09
	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	22,1	1,45	7,3	1,1
	〃	〃	〃	—	—	—	92	3	18,8	1	7,3	1,1
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	21,4	1	7,23	1,1
43	〃	*B*	1 m	1	7	7	51	5	22,4	1	7,62	1,16
44	〃	〃	〃	—	—	—	72	3	22,9	1,7	7,63	1,15
	〃	〃	〃	—	—	—	92	—	19,4	1,45	7,63	1,15
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	22	1	7,59	1,14
45	Godefroy	〃	1 m	1	4	4	51	—	30,6	1	10,18	1,08
	〃	〃	〃	—	—	—	51	5	31	1	10.3	1,1
	〃	〃	〃	—	—	—	92	3	28,8	1,45	10,6	1,12
46	Guttapercha	〃	1 m	—	—	—	51	5	38,6	1	9,57	1,1
	〃	〃	〃	—	—	—	—	—	31,0	1	9,57	1,08
47	Siemens	〃	500 y	—	—	—	51	5	8,1	1,7	7,3	0,77
	〃	〃	390 y	—	—	—	72	5	6,5	1,45	7,4	0,78

Anhang IV.

Vertheilung der Ladung nach der Länge der Kabel.

Sei AB (Fig. 22) eine gegebene Länge (l) des geradegestreckten Kabels, dessen Ende B mit der Erde in Verbindung ist, und AC die elektromotorische Kraft einer Batterie, deren einer Pol an A geschlossen ist, während der andere zur Erde geführt ist. Dann stellt, unter Voraussetzung, dass das Kabel überall gleichen Querschnitt und gleiche Leitungsfähigkeit hat, nach dem Ohm'schen Gesetz BC die Curve der an den verschiedenen Punkten des Kabels vorhandenen elektromotorischen Kraft dar.

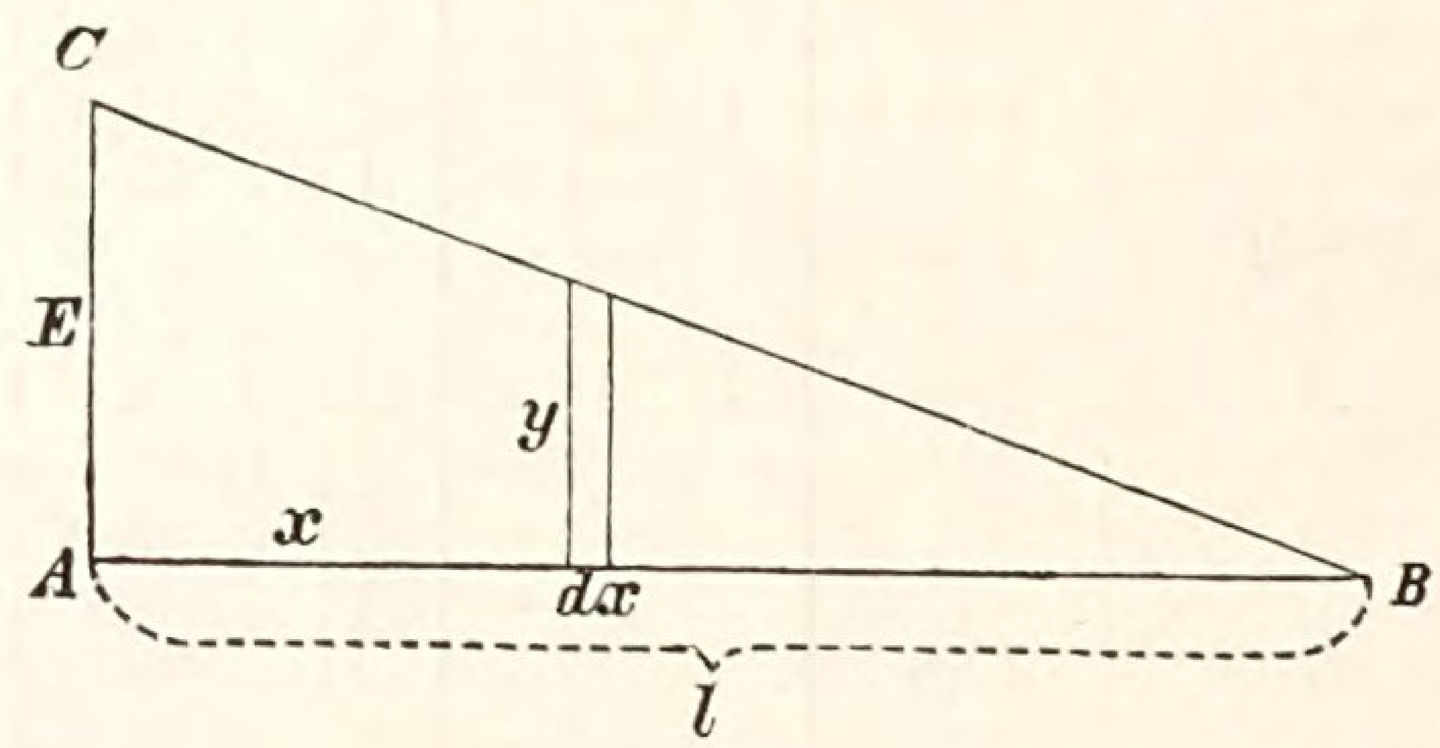


Fig. 22.

Im Jahre 1849 hat Werner Siemens in Poggendorff's Annalen nachgewiesen, dass, wenn ein Strom in ein in Wasser versenktes oder vergrabenes Kabel gesendet wird, ein Theil der Elektricität als Ladung längs der ganzen Oberfläche zurückgehalten wird, und dass dieselbe proportional der Spannung eines jeden Punktes vertheilt ist.

Es mag also im Abstande x von A die Spannung der Elektricität eines Elementes von der Dicke dx mit y bezeichnet werden, dann ist die Elektricitätsmenge dq, mit welcher die Aussenfläche des Cylinders dx geladen ist:

$$dq = K \,.\, y = y \cdot \frac{2\, J \,.\, \pi\, dx}{\log \text{nat} \frac{R}{r}} \,.$$

Diese Elektricitätsmenge dq hat auf dem Wege nach dx den Widerstand des Stückes x zu überwinden. Die hierdurch bedingte Stromstärke gebrauche die Zeit dt, um die Quantität dq zu befördern; wir haben daher die Gleichung:

$$dq = \frac{E \,.\, dt}{\frac{x}{r^2 \pi \lambda}} = \frac{E\, r^2 \pi \lambda}{x}\, dt.$$

Durch Gleichsetzung dieser beiden Werthe von dq erhält man die Differentialgleichung:

$$y \cdot \frac{2\, J \pi \,.\, dx}{\log \text{nat} \frac{R}{r}} = \frac{E \,.\, r^2 \pi \lambda}{x}\, dt.$$

Für y giebt uns die Proportion $E : y = l : l - x$ den Werth $y = \frac{E(l-x)}{l}$; setzen wir denselben in die Differentialgleichung, so ergiebt sich:

$$dt = \frac{2\,J}{l\,.\,r^2\,\lambda\,.\,\log\,\text{nat}\,\frac{R}{r}}\cdot x\,(l-x)\,dx,$$

$$\text{und daraus } t = \frac{2\,J}{l\,.\,r^2\,\lambda\,.\,\log\,\text{nat}\,\frac{R}{r}}\cdot\int_0^l x\,(l-x)\,dx$$

$$= \frac{2\,J}{l\,.\,r^2\,\lambda\,.\,\log\,\text{nat}\,\frac{R}{r}}\cdot\left(\frac{l^3}{2}-\frac{l^3}{3}\right),$$

$$\text{endlich } t = \frac{J\,.\,l^2}{3\,r^2\,\lambda\,.\,\log\,\text{nat}\,\frac{R}{r}}.$$

Anhang V.

Messungen des Widerstandes der Isolirschicht.

Die nachfolgende Tafel enthält die Resultate der Messungen des specifischen Widerstandes des Isolationsmaterials. Die Zahlen sind mit Hülfe der im Anhang II und III entwickelten Formeln aus der durch eine gewisse Anzahl von Batterieelementen bewirkten Ablenkung hergeleitet, wobei in der Constanten 18 Nullen fortgelassen sind, dieselbe also durch 10^{18} dividirt ist.

Diese Zahlen stellen also den specifischen Widerstand gegen Quecksilber in Trillionen der Einheit dar. Einzelne Schwankungen mögen theils der Einwirkung sehr starker Batterieströme beizumessen sein, denen die Kabel bei der Fabrication ausgesetzt gewesen waren, theils dem Umstande, dass man nicht genügende Zeit zur Herstellung einer gleichförmigen Temperatur in dem ganzen Kabel gelassen hatte, und verschiedenen anderen Umständen.

Ungeachtet dieser Unregelmässigkeiten jedoch treten die grossen Unterschiede zwischen den Widerstandscoëfficienten der Guttapercha, des Kautschuk und Wray's Mischung sehr deutlich hervor.

Material.		R	r	32° Fahr.			52° Fahr.			72° Fahr.			92° Fahr.		
				Zahl der Elemente.	Ablenkung.	Spec. Widerstand.	Zahl der Elemente.	Ablenkung.	Spec. Widerstand.	Zahl der Elemente.	Ablenkung.	Spec. Widerstand.	Zahl der Elemente.	Ablenkung.	Spec. Widerstand.
Guttapercha .	*B*	13	1	—	—	—	256	5,6	0,916	64	16	0,5	64	19,2	0,325
=	*A*	—	—	—	—	—	—	3,6	1,45	—	12,5	0,637	—	16,9	0,368
=	*A*	7	1	2	2,8	4,40	128	2,6	2,63	—	21,9	0,969	32	20,2	0,407
=	*B*	4	1	—	—	—	—	—	—	—	36,7	0,85	16	26,5	0,221
=	*B*	8	2	—	—	—	64	2,4	1,89	—	70,8	0,538	—	21,6	0,264
=	*A*	10	4	—	—	—	256	13,2	1,09	—	30,6	0,996	—	11	0,393
=	*B*	—	—	—	—	—	256	6,4	2,23	—	21,9	1,03	—	9,6	0,447
Silver . . .	*B*	7,2	1	—	—	—	256	1,4	48,9	512	4,4	41,5	512	4,6	31,0
=	*C*	6,2	1	—	—	—	—	1,2	52,4	—	3,4	49,0	—	5,3	24,3
Wray . . .		7	1	—	—	—	—	2,6	23,6	—	6,4	26,0	—	15,7	38,4
Siemens . .		4	1	—	—	—	—	0,5	38,4	—	1,1	49,55	—	0,9	38,4
G. P. spec. .	*A*	4	1	—	—	—	128	21,4	2,25	—	21,1	8,25	—	—	—
=	*B*	4	1	—	—	—	—	4,7	9,44	64	6	4,86	32	1,3	8,38
=	*C*	7	1	—	—	—	512	5,5	22,9	—	—	—	—	8,6	1,55
Hughes . .		6	1	—	—	—	64	16,7	1,05	8	18,9	0,153	8	11,6	0,191
Many coatings		7	1	—	—	—	256	8	7,86	256	21,4	3,98	32	12,8	0,696
Hall und Wells	*B*	—	1	—	—	—	128	—	—	128	8,3	5,53	256	27,5	3,11
Radcliff . .	*A*	7	1	—	—	—	—	fehlerh	—	2	15,9	0,041	2	11,2	0,057
=	*B*	—	—	—	—	—	16	8	0,48	16	15,0	0,350	16	8,6	9,642
Godefroy . .		—	—	—	—	—	—	—	—	46	14,9	0,496	16	13,2	0,432

Beschreibung ungewöhnlich starker elektrischer Erscheinungen auf der Cheops-Pyramide bei Cairo während des Wehens des Chamsins.

(Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 109, S. 355.)

1860.

Als ich am 14. April v. J. mit den mich zur Anlage der Telegraphen-Linie durch das Rothe Meer begleitenden Ingenieuren die Cheops-Pyramide erstieg, hatten wir Gelegenheit, eine ungewöhnlich starke elektrische Erscheinung auf dem Gipfel derselben zu beobachten.

Als wir des Morgens früh Cairo verliessen, war der Himmel wie gewöhnlich heiter und klar und kaum eine Luftbewegung bemerkbar. Eine leichte blassrothe Färbung des südwestlichen Horizonts schien aber meinen Eseltreiber zu beunruhigen. Er deutete mehrfach nach jener Stelle hin und schien aus ihr den Grund zu einer energischeren Antreibung meines Trägers zu entnehmen.

Um 9½ Uhr langten wir am Fusse der Pyramide an und befanden uns etwa 20 Minuten später auf dem Gipfel derselben, weniger in Folge eigener Anstrengung als der kräftigen Impulse, die einem Jeden von uns durch drei kräftige Araber zu Theil wurden, welche uns gleich Waaren-Ballen von einer Stufe auf die andere warfen. Oben angekommen, empfanden wir eine kalte, scharfe Luftbewegung. Die Röthung des südwestlichen Horizonts war in eine bis zum Zenith ausgedehnte, farblose Trübung übergegangen, so dass wir anstatt der gehofften Uebersicht über das Nilthal und die Stadt Cairo nur schwache Umrisse der nächstgelegenen Gegenstände wahrnehmen konnten. Wir lagerten uns hinter den Steinblöcken, welche vereinzelt auf dem abgeplatteten Gipfel dieser Pyramide liegen, um uns von den Anstrengungen unseres unfreiwilligen Wettlaufs zu erholen und gegen den kalten, immer stärker blasenden Wind zu schützen.

Es war interessant zu beobachten, wie der aufgewirbelte Wüstenstaub, der die Ebene bereits mit einem undurchsichtigen gelben Schleier bedeckte, immer höher an der Pyramide emporstieg. Als er auch die höchsten Stufen derselben erreicht hatte, vernahmen wir ein sausendes Geräusch, welches ich der wachsenden Gewalt des Windes zuschrieb. Die Araber, welche um uns her auf den nächsten Stufen kauerten, sprangen jedoch mit dem Rufe Chamsin plötzlich auf und hielten den ausgestreckten Zeigefinger in die Höhe. Es liess sich jetzt ein eigenthümlich zischender Ton, ähnlich dem Ton des „singenden“ Wassers, hören. Wir glaubten Anfangs, die Araber brächten diesen Ton hervor, doch überzeugte ich mich bald, dass derselbe ebenfalls entstand, als ich mich auf den höchsten Punkt der Pyramide stellte und meinen eigenen Zeigefinger hoch empor hielt. Dabei war ein leises, kaum auffallendes Prickeln der dem Winde entgegengerichteten Hautfläche des Fingers bemerkbar. Ich konnte diese von uns allen constatirte Thatsache nur als eine elektrische Erscheinung deuten, und als solche erwies sie sich auch in der That. Als ich eine gefüllte Weinflasche, deren Kopf mit Stanniol bekleidet war, emporhielt, hörte ich denselben singenden Ton wie bei Aufhebung des Fingers. Während dessen sprangen von der Etiquette fortwährend kleine Funken zu meiner Hand über und als ich darauf den Kopf der Flasche mit der anderen Hand berührte, erhielt ich eine heftige elektrische Erschütterung, während ein glänzender Funke vom metallenen Kopfe der Flasche in meine Hand übersprang. Es ist klar, dass die durch den feuchten Kork mit der Metallbelegung des Kopfes der Flasche in leitender Verbindung stehende Flüssigkeit im Innern derselben die innere Belegung einer Leydener Flasche bildete, während Etiquette und Hand die abgeleitete äussere vertraten. Auch eine entkorkte Flasche lud sich auf gleiche Weise, namentlich dann, wenn die Oeffnung gegen den Wind geneigt wurde, wie Dr. Esselbach durch einen heftigen Schlag erkannte, den er empfand, als er dieselbe an den Mund setzte. Als ich die äussere Belegung meiner Flasche durch Umhüllung derselben mit angefeuchtetem Papier aus unserem Proviantkorbe vervollständigt hatte, wurde die Ladung derselben so stark, dass ich mich ihrer als einer sehr wirksamen Vertheidigungswaffe bedienen konnte. Nachdem die Araber nämlich einige Zeit mit Verwunderung unserem Treiben zugesehen hatten, kamen sie zu der Ueberzeugung, wir trieben Zauberei, und verlangten, wir sollten die Pyramide verlassen. Als ihre uns verdolmetschten Vorstellungen nichts fruchteten, wollten sie von dem Naturrechte des Stärkeren Gebrauch machen und uns mit Gewalt von der Spitze entfernen. Ich zog mich auf den höchsten Felsblock zurück und lud meine verstärkte Flasche möglichst kräftig, während der Führer der Araber meine Hand ergriff und mich von der erklommenen Höhe fortzuziehen begann. In diesem kritischen

Augenblicke näherte ich den Kopf meiner Flasche seiner Nase bis zur Schlagweite, die etwa 10 mm betragen mochte. Die Wirkung der Entladung überstieg meine kühnsten Erwartungen. Der Wüstensohn, dessen Nerven noch nie eine ähnliche Erschütterung empfunden hatten, fiel wie vom Blitz getroffen zu Boden, sprang darauf mit lautem Geheul wieder auf und verschwand mit einigen mächtigen Sprüngen aus unserem Gesichtskreise, gefolgt von seinen sämmtlichen Genossen!

Wir hatten nun volle Freiheit, unsere Experimente fortzusetzen. Leider fehlte es uns an allen Vorbereitungen zu denselben und sie wurden auch durch den immer heftiger gewordenen Wind, welcher es schwierig und selbst einigermassen gefährlich machte, aufrecht zu stehen, noch mehr erschwert. Als ich mich durch einen aus aufgestellten Flaschen improvisirten Isolirschemel von der Steinmasse der Pyramide isolirte, hörte das sausende Geräusch beim Emporheben des ausgestreckten Fingers nach kurzer Zeit auf. Ich konnte jetzt meinen Gefährten durch Näherung der Hand Funken ertheilen und empfand eine gelinde Erschütterung, wenn ich den Boden berührte. Dagegen sträubten sich meine Haare weniger als die meiner nicht isolirten Gefährten, wenn ich den Boden berührte. Die Art der Elektricität zu bestimmen, gelang uns leider nicht mit voller Sicherheit. Wir versuchten, die Flasche durch eine aus Stanniol gebildete Spitze zu laden und zu entladen, um aus den dabei beobachteten Erscheinungen auf die Art der atmosphärischen Elektricität zu schliessen, doch erlangten wir dabei kein sicheres Resultat.

Bemerkenswerth ist, dass wir die beschriebenen Erscheinungen nur auf der Spitze der Pyramide wahrnahmen. Schon einige Stufen tiefer waren sie nur noch sehr schwach, und in der Ebene konnten wir gar keine elektrischen Erscheinungen mehr entdecken. Dabei blies der Wind in ungeschwächter Stärke, und es unterliegt keinem Zweifel, dass sie oben noch eben so fortdauerten wie früher.

Da die elektrischen Erscheinungen erst dann bemerkbar wurden, als der Wüstenstaub die Spitze der Pyramide erreichte, so muss er als der eigentliche Träger und wahrscheinlich auch als die Ursache der Elektricität betrachtet werden. Nimmt man an, dass die vom Winde gepeitschten Staubtheilchen und Sandkörnchen mit der trockenen Oberfläche des Bodens der Wüste elektrisch geworden waren, so musste jedes elektrischen Körnchen die eine Belegung eines Ansammlungsapparates bilden, dessen andere der Erdkörper selbst war, während die zwischen beiden befindliche Luft das die Belegungen trennende isolirende Medium vertrat. Durch die aufsteigende Bewegung der Staubkörnchen ward nun die isolirende Schicht verstärkt, die Schlagweite aller dieser kleinen geladenen Flaschen musste mithin zunehmen und in der Höhe von etwa 500 Fuss über dem Boden beträchtlich grösser sein als in seiner unmittelbaren Nähe. Der Elektricität der gewaltigen

elektrisirten Staubwolke, welche über dem Erdboden lagerte, stand eine gleichgrosse Quantität entgegengesetzter Elektricität der Erdoberfläche gegenüber. Die leitende Pyramide musste nun einen sehr bedeutenden verdichtenden Einfluss auf diese Elektricität der Erdoberfläche ausüben, da sie als colossale Spitze zu betrachten ist. Es kann daher gar nicht überraschen, dass der elektrische Unterschied zwischen den auf dem Gipfel der Pyramide befindlichen höchsten und feinsten Spitzen, wie dem aufgehobenen Finger oder Flaschenkopf, und den Staubkörnchen so gross war, dass zahllose kleine Funken zwischen ihnen übersprangen, während in der Ebene gar keine Elektricität wahrzunehmen war. Die beobachteten Erscheinungen finden durch diese Annahme ihre vollständige Erklärung.

Vorschlag
zu einem
reproducirbaren Widerstandsmasse.

(Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 110, S. 1.)

1860.

Der Mangel eines allgemein angenommenen Widerstandsmasses und die daraus namentlich für die technische Physik entspringenden wesentlichen Uebelstände, veranlassten mich schon vor einigen Jahren zur Anstellung der nachfolgend beschriebenen Versuche.

Meine ursprüngliche Absicht war, dem Jacobi'schen Widerstandsmasse allgemeineren Eingang in die Technik zu verschaffen. Ich fand jedoch bald, dass dieses nicht ohne Nachtheil ausführbar war. Einmal differirten mehrere Jacobi'sche Widerstands-Etalons, die ich mir verschaffte, so wesentlich von einander und waren in so geringer Uebereinstimmung mit den über ihren Widerstand gemachten Angaben, dass ich nothwendig auf das Jacobi'sche Normalmass hätte zurückgehen müssen, was mir jedoch nicht zu Gebote stand. Aber auch abgesehen hiervon überzeugte ich mich, dass ein Widerstandsmass nur dann zur allgemeinen Annahme sich eignet, wenn es reproducirbar ist. Ob der Widerstand eines Metalldrahtes sich mit der Zeit, durch die Erschütterungen des Transportes, durch die ihn durchlaufenden Ströme und andere Einflüsse, verändert, ist noch immer nicht vollständig entschieden. Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass eine solche Aenderung stattfindet, und daher durchaus nicht zulässig, den Widerstand eines bestimmten Drahtes als Urmass des Widerstandes anzunehmen. Ferner werden durch das häufige Copiren eines Widerstandmasses nach anderen Copien — wie es doch bei allgemeiner Annahme desselben unvermeidlich wäre — die Abweichungen vom Normalmass stets grösser. Für Untersuchungen, die mit verbesserten Instrumenten und in grösserer

Schärfe ausgeführt werden sollen, sind aber Copien unbrauchbar, die mit geringerer Schärfe bestimmt sind. Endlich ist es sehr wünschenswerth und bequem, einen bestimmten geometrischen Begriff mit dem Widerstandsmass verbinden zu können, was bei einem Medalldraht nie der Fall sein kann, da der Widerstand der festen Körper von der Molecularbeschaffenheit derselben, so wie von nicht leicht zu vermeidenden Verunreinigungen des Metalls in hohem Grade abhängig ist.

Ebenso wenig geeignet zur allgemeinen Einführung schien mir das absolute Widerstandsmass. Man kann es nur mittels sehr vollkommener Instrumente in besonders dazu eingerichteten Localen und bei grosser experimenteller Gewandtheit darstellen und es fehlt ihm ebenfalls die in praxi so wichtige körperliche Vorstellung. Endlich sind seine Zahlen durch ihre Grösse höchst unbequem.

Der einzig brauchbare Weg zur Aufstellung eines allen Anforderungen genügenden, namentlich von Jedermann mit Leichtigkeit und in der nöthigen Genauigkeit darstellbaren Widerstandsmasses, schien mir der zu sein, den Widerstand des Quecksilbers als Einheit zu benutzen. Quecksilber ist mit grosser Leichtigkeit in ausreichender, fast vollkommener Reinheit zu beziehen oder herzustellen. Es hat, so lange es flüssig ist, keine verschiedene, seine Leistungsfähigkeit modificirende Molecularbeschaffenheit; sein Widerstand ist weniger als der der anderen einfachen Metalle von Temperaturänderungen abhängig, endlich ist sein specifischer Widerstand sehr bedeutend, die Vergleichungszahlen werden daher klein und bequem.

Ich entschloss mich also zu versuchen, ob es möglich sei, mittels gewöhnlicher, im Handel vorkommender Glasröhren und gereinigten Quecksilbers durch eine geeignete Methode bestimmte Widerstandsmasse mit ausreichender Genauigkeit herzustellen. Die grösste Schwierigkeit schien darin zu liegen, dass es nicht möglich ist, sich genau cylindrische Glasröhren zu verschaffen. Die käuflichen Glasröhren haben in der Regel eine grössere nebst einigen kleineren Ausbauchungen. Es ist aber leicht, sich durch Kalibrirung mittels eines kurzen Quecksilberfadens aus einer grösseren Anzahl von Glasröhren einige Stücke von 1 Meter Länge herauszusuchen, bei welchem der Querschnitt sich ziemlich gleichmässig verändert. Man kann alsdann das Rohr als abgestumpften Kegel betrachten und den Widerstand dieses Kegels in Rechnung bringen. Das Volumen des mit Quecksilber angefüllten Kegels kann man durch Wägung des Metalls leicht und mit grosser Schärfe bestimmen.

Es sei Fig. 23 ein solcher abgestumpfter Kegel, dessen parallele Begrenzungskreise die Radien R und r haben und dessen Länge l ist. In der Entfernung x von der Ebene AB sei ein mit ihr paralleler Schnitt MN vom Radius z und der Dicke dx durch den Kegel

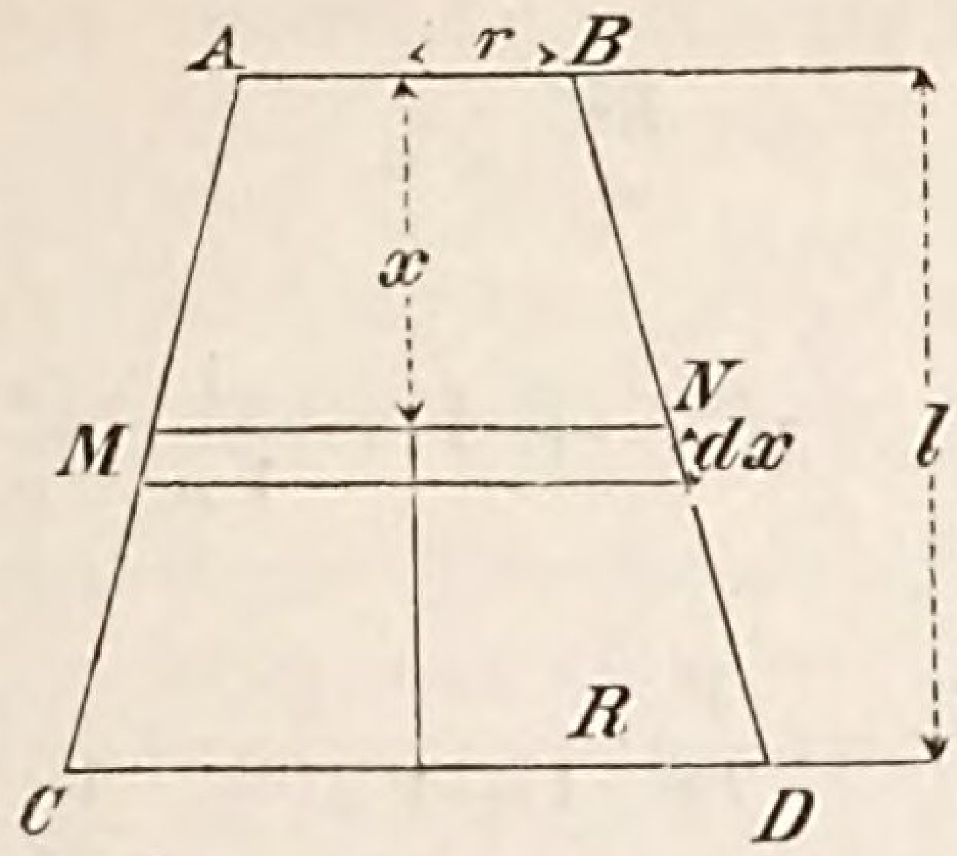


Fig. 23.

gelegt. Ist W der Widerstand des Kegels in der Richtung seiner Axe, dW der Widerstand des Schnittes MN nach derselben Richtung, so ist:

$$dW = \frac{dx}{z^2 \pi}.$$

Est ist aber

$$z = \frac{(R-r)x}{l} + r.$$

Diesen Werth von z nach x differentiirt, giebt:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{R-r}{l},$$

folglich

$$dx = \frac{l}{R-r} \cdot dz.$$

Durch Einsetzung dieses Werthes von dx in die erste Gleichung erhält man:

$$dW = \frac{l}{(R-r)\pi} \cdot \frac{dz}{z^2}.$$

Durch Integration dieser Gleichung nach z entsteht:

$$W = \int_r^R \frac{l}{(R-r)\pi} \cdot \frac{dz}{z^2} = \frac{l}{(R-r)\pi} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$$

oder

$$1) \quad W = \frac{l}{R r \pi}.$$

Es sei ferner V das Volumen des abgestumpften Kegels, G das Gewicht des darin enthaltenen Quecksilbers und σ das specifische Gewicht desselben. Es ist

$$V = (R^2 + Rr + r^2)\frac{l\pi}{3}.$$

Dividirt man diese Gleichung durch Rr, so ergiebt sich:

$$\frac{V}{Rr} = \left(\frac{R}{r} + 1 + \frac{r}{R}\right)\frac{l\pi}{3},$$

und setzt man

$$\frac{R^2}{r^2} = a,$$

so folgt:

$$\frac{V}{Rr} = \left(\sqrt{a} + 1 + \frac{1}{\sqrt{a}}\right)\frac{l\pi}{3}$$

und hieraus:

$$Rr = \frac{V}{l\pi} \cdot \frac{3}{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}$$

oder für V den Werth $\frac{G}{\sigma}$ gesetzt,

$$Rr = \frac{G}{l\pi\sigma} \cdot \frac{3}{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}.$$

Dieser Werth von Rr in die Gl. 1 eingesetzt giebt:

$$2) \quad W = \frac{l^2\sigma}{G} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}.$$

Der auf diese Weise gefundene Werth von W ist selbstverständlich für jede pyramidale Form des Leiters gültig, wenn nur a das Verhältniss des grössten zum kleinsten Querschnitt ausdrückt. Es ist ferner noch richtig, wenn man für einen abgestumpften Kegel von der Länge l eine beliebige Anzahl n solcher Kegel substituirt, die gleich lang sind und deren Gesammtlänge gleich l ist, wenn nur bei jedem das Verhältniss des grössten zum kleinsten Querschnitt oder der reciproke Werth dieses Verhältnisses gleich a ist.

Es ist nämlich in diesem Falle, wenn

$$l = n\lambda$$

ist, wo λ die Länge eines Kegels bedeutet:

$$W = n\,\frac{\lambda^2\sigma}{\frac{G}{n}} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

oder

$$W = \frac{n^2\lambda^2\sigma}{G} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

oder

$$W = \frac{l^2\sigma}{G} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

Da nun ferner der Correctionscoëfficient für die conische Form des Leiters

$$\frac{1+\sqrt{a}+\frac{1}{\sqrt{a}}}{3}=\frac{1+\frac{R}{r}+\frac{r}{R}}{3}$$

bei geringer Verschiedenheit der Durchmesser R und r nur sehr wenig von 1 verschieden ist, so kann man ohne merklichen Fehler jede nicht völlig cylindrische Röhre als einen abgestumpften Kegel betrachten und die Verhältnisszahl a durch den Quotienten der grössten und kleinsten Länge des zur Kalibrirung benutzten Quecksilberfadens bilden.

Durch eine Reihe von Versuchen ermittelte ich nun, ob die für verschiedene Röhren von sehr abweichenden mittleren Querschnitten berechneten Werthe ihrer Widerstände mit den gemessenen hinreichend genau übereinstimmten. Meine Methode war folgende:

Es wurden käufliche Glasröhren von etwa $^3/_4$ bis 2 mm innerem Durchmesser auf einem langen Massstab befestigt, darauf in jedes Rohr ein Quecksilbertropfen gebracht und die Länge des durch ihn gebildeten Fadens gemessen. Durch Neigung des Rohres konnte man diesen Quecksilberfaden nach und nach das ganze Rohr durchlaufen lassen und somit dasjenige Stück des Rohrs von etwa 1 m Länge ausfindig machen, welches sich am meisten cylindrisch oder gleichförmig conisch erwies. Diese Stücke wurden aus den Röhren ausgeschnitten, und die Enden durch eine kleine, von Halske zu diesem Zwecke construirte Vorrichtung so abgeschliffen, dass die Röhren genau 1 Meter lang waren. Die so vorbereiteten Röhren wurden sorgfältig gereinigt. Diess liess sich am leichtesten so bewirken, dass man zwei mit Seide übersponnene, dünne Neusilber- oder Stahldrähte zusammendrehte, sie darauf durch das Rohr schob und dann mit dem hervorragenden einen Ende der Drähte ein Bäuschen reiner Baumwolle zusammendrehte, welches darauf langsam und vorsichtig durch das Rohr gezogen wurde. Diese Operation erfordert allerdings einige Sorgfalt, um das Zerbrechen des Rohrs zu verhüten. Darauf wurde das Rohr mit gereinigtem Quecksilber gefüllt und der Inhalt gewogen. Diese Operation wurde, wie folgt, ausgeführt: Das eine Ende des Glasrohrs wurde mittels eines Verbindungsstückes von vulkanisirtem Kautschuk so in der einen Oeffnung einer kleinen Retorten-Vorlage, wie sie in chemischen Laboratorien gebräuchlich sind, befestigt, dass das Ende des Rohres in die Vorlage hineinragte. Um das andere Ende des Rohres ward eine eiserne Klemmvorrichtung, wie sie Fig. 24 zeigt, angebracht, mittels welcher sich ein plangeschliffenes Eisenplättchen

gegen die Mündung des Rohrs schrauben liess. Nachdem nun die passend befestigte Vorlage mit reinem Quecksilber angefüllt war, liess man dasselbe durch die etwas geneigte Glasröhre in eine untergestellte Schale laufen. Wenn der Augenschein nach einiger Zeit lehrte, dass alle anfänglich sich bisweilen zeigenden Luftbläschen vom durchströmen-

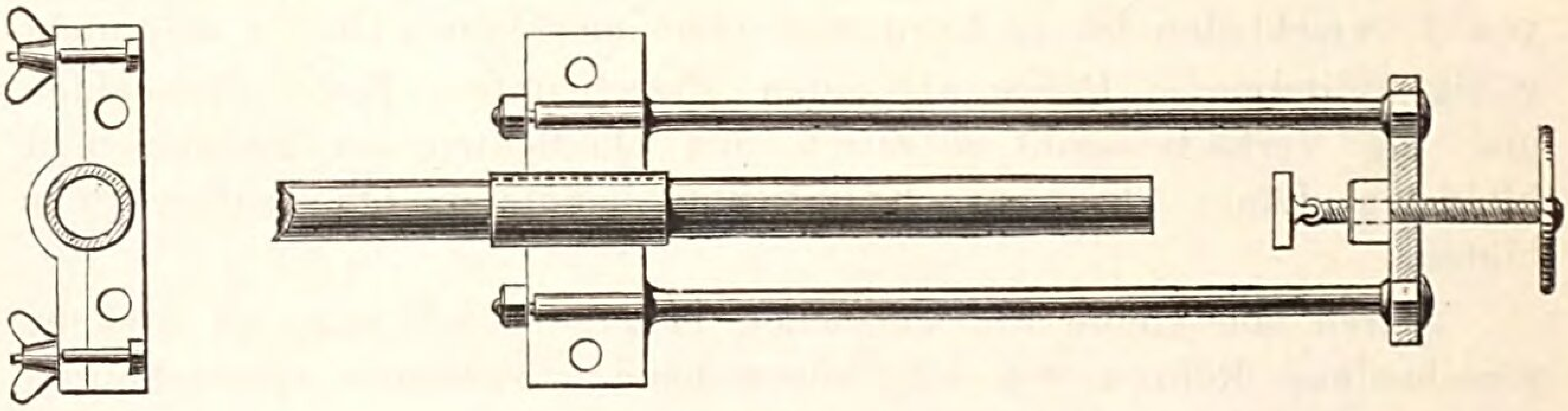


Fig. 24.

den Quecksilber entfernt waren, so wurde die Ausflussöffnung durch Anziehen der das Eisenplättchen bewegenden Schraube dicht geschlossen, das Rohr alsdann aufgerichtet und das andere Ende aus dem Kautschukschlauch gezogen. Geschah dieses mit Vorsicht, so war das nun senkrecht aufgerichtete Rohr vollständig angefüllt, und die Quecksilbersäule endete in einer kleinen hervorragenden Halbkugel. Durch Aufdrücken eines eben geschliffenen Glasplättchens wurde nun auch die obere Oeffnung geschlossen und das überflüssige Quecksilber beseitigt. Nachdem endlich mit einem Pinsel alle kleinen am Rohre haftenden Quecksilberkügelchen beseitigt waren, wurde der Inhalt der Röhre in ein kleines Glasgefäss entleert und auf einer genauen chemischen Wage gewogen. Wenn man die Vorsicht braucht, das Quecksilber sehr langsam ausfliessen zu lassen, indem man das Rohr nur sehr wenig neigt und das Eisenplättchen am anderen Ende nur sehr allmählich lüftet, so bleiben keine Quecksilberkügelchen im Rohre zurück, wie es ohne diese Massregel gewöhnlich der Fall ist. Erwärmung des gefüllten Rohrs durch Berührung mit blossen Händen wurde natürlich vermieden. Die Temperatur während der Füllung der Röhren ward beobachtet und das gefundene Gewicht auf Füllung beim Nullpunkt der Temperatur reducirt. Von den nächstfolgenden Tabellen giebt Tabelle I die verschiedenen Längen der Quecksilberfäden bei der Kalibrirung der benutzten Röhrenstücke und die daraus gefundene Verhältnisszahl a des grössten zum kleinsten Querschnitt. Tabelle II giebt die durch Wägung gefundenen und auf Füllung bei 0^{0} reducirten Gewichte des Quecksilbers.

Tabelle I.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
125,0	101,2	48,2	143,0	115	111
116,4	98,4	47,5	145,0	116	109
115,3	96,9	45,0	146,0	119	107
114,0	94,5	45,0	145,0	121	105
112,0	94,0	44,8	143,5	121	105
110,2	93,3	44,2	142,5	122	103
108,2	94,5	43,9	142,5	121	101
107,0	95,7	43,7	140,0	120	100
107,0	97,5	42,5	139,0	119	101
106,0	99,4	41,0			102
	100,1	40,1			100
Also $a = \frac{125}{106}$	$\frac{101,2}{93,3}$	$\frac{48,2}{40,1}$	$\frac{146}{139}$	$\frac{122}{115}$	$\frac{111}{100}$

und mithin die respectiven Correctionscoëfficienten

1,00225	1,00055	1,00282	1,000201	1,000289	1,000906

Tabelle II.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
13,208	27,1915	24,3825	62,368	69,802	11,767
13,210	27,1900	24,3830	62,366	69,796	11,768
13,209	27,1915	24,3840	62,357	69,803	11,767
13,209	27,1920	34,3833			
bei	bei	bei	bei	bei	bei
13°,5 R.	14° R.	13°,5 R.	18° R.	14°,7 R.	15°,2 R.
			61,395	69,795	11,776
			62,398	69,795	11,777
			63,393	69,794	11,774
					11,774
			bei	bei	bei
			14°,5 R.	18° R.	14°,7 R.

Gewicht in Gramm bei 0°.

13,2491	27,277	24,457	62,774	70,054	11,808

Substituirt man in die oben gefundene Formel 2) für den Widerstand

$$W = \frac{l^2 \sigma}{G} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

aus den Tabellen I und II die Werthe für G (in Milligramm) und

des Correctionscoëfficienten, nimmt man ferner für das specifische Gewicht des Quecksilbers bei 0° den Werth

$$\sigma = 13,557$$

und für die gemeinschaftliche Länge aller Röhren

$$l = 1000 \text{ mm},$$

so erhält man den Widerstand der Röhren in Einheiten des Widerstandes eines Quecksilberwürfels von 1 mm Seitenlänge ausgedrückt. Tabelle III giebt diese berechneten Werthe:

Tabelle III.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
1025,54	497,28	555,87	216,01	193,56	1148,9

Es wurden nun die Widerstände dieser mit Quecksilber von 0° gefüllten Röhren mit der Copie eines Jacobi'schen Etalons (*B*) verglichen und zwar geschah dieses mittels einer Wheatstone'schen Brücke. Da die von mir benutzte Brücke in der von Halske und mir ihr gegebenen Form zu sehr genauen Widerstandsmessungen geeignet ist, so wird ihre nähere Beschreibung nicht ohne Interesse sein.

Fig. 25 stellt die Brücke in ihrer perspectivischen Ansicht dar. *AA* ist ein Rahmen von Messing, auf welchem sich der Schlitten *BB* verschiebt. Der drehbare Knopf *C* auf dem Schlitten ist mit einem Zahnrade versehen, welches in eine am Rahmen befestigte Zahnstange *S* eingreift. Der Schlitten ist daher sowohl direct als durch Drehung des Knopfes verschiebbar. Am Rahmen sind ferner die isolirten Stücke *EE* und der mit Millimetertheilung versehene Massstab *mm* befestigt. Zwischen den isolirten Metallstücken *EE*, deren innere Flächen normal auf dem Massstab stehen und genau 1000 mm von einander entfernt sind, ist ein etwa 0,16 mm dicker Platindraht ausgespannt. Dieser Draht, dessen Anfangs- und Endpunkt genau mit den Theilstrichen 0 und 1000 übereinstimmen, wird von 2 kleinen Platinrollen umfasst, deren Axen am Schlitten *B* vermittels der Federn *G* befestigt sind. Die zu vergleichenden Widerstände werden zwischen der Metallschiene *H*, welche durch den Contacthebel I mit dem einen Pole der Kette in Verbindung zu setzen ist, und zwei in den Klemmenlagern *KK* verschiebbaren dicken Kupferstangen *LL* eingeschaltet. Der andere Pol der Kette, zu welcher gewöhnlich ein Daniell'sches Element benutzt wurde, ist in leitender Verbindung mit dem Schlitten *B* und den Platinrollen. Die Klemmenlager *KK* und die als Befestigungspunkte des Platindrahtes dienenden isolirten Metallstücke *EE* sind durch dicke Kupferstangen mit den 4 Lamellen des Stöpselumschalters *S* in gut leitende Verbindung gesetzt. Es lassen sich mithin

durch Versetzung der beiden Stöpsel die zu vergleichenden Widerstände vertauschen. Zu den Metallstücken *EE* sind ferner die Enden des Multiplicatordrahtes des zu benutzenden Galvanometers geführt. Ich benutzte zu den vorliegenden Messungen ein Spiegelgalvanometer mit rundem Stahlspiegel von 32 mm Durchmesser und 36 000 Windungen von 0,15mm dickem Kupferdraht. Der Abstand der mit Millimetertheilung versehenen Scale vom Spiegel beträgt $6^1/_2$ Meter.

Die mit dem beschriebenen Widerstandsmessapparat angestellten und in nachfolgenden Tabellen zusammengestellten Messungen wurden grösstentheils vom Hrn. Dr. Esselbach ausgeführt. Die hierbei befolgte Methode war folgende:

Jedes Ende des zu prüfenden Glasrohres wurde mittels eines Kautschukverschlusses in das Innere einer Retorten-Vorlage geführt. Diese Vorlage wurde so gedreht, dass der unbenutzte weitere Hals nach oben gerichtet war und so mit dem sie verbindenden Rohre in eine Rinne gelegt, die mit Eisstücken angefüllt war. Darauf wurde die eine Vorlage mit gereinigtem und

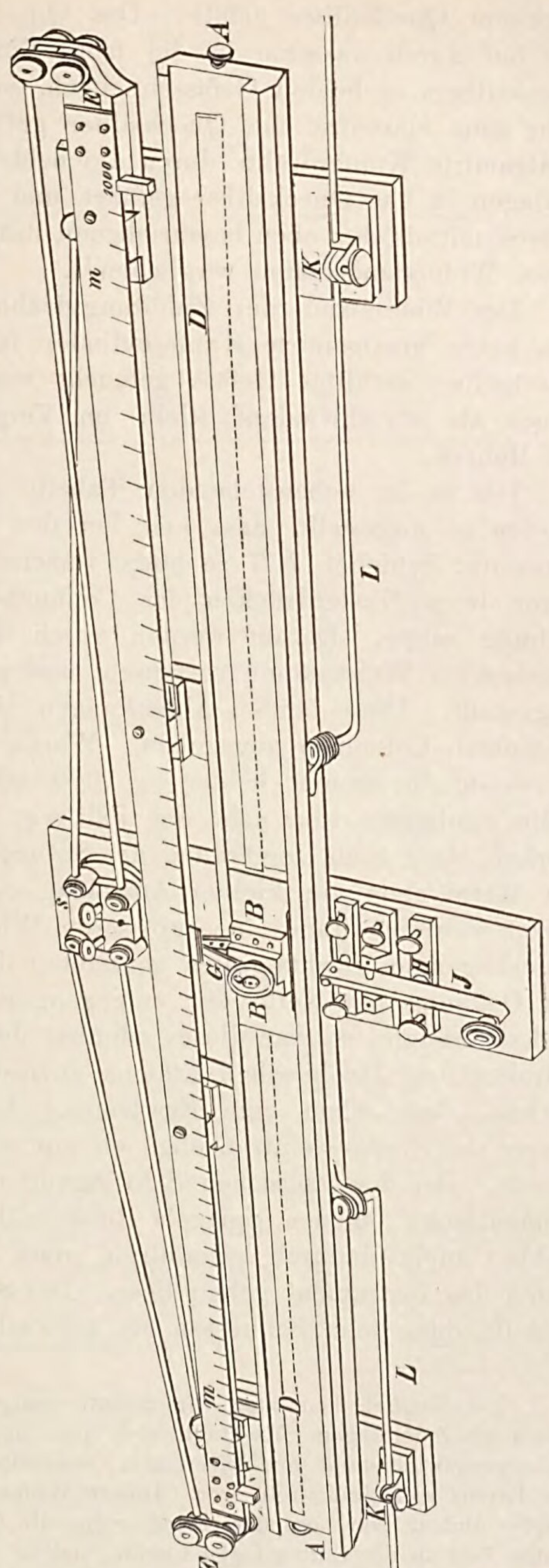


Fig. 25.

trocknem Quecksilber gefüllt. Das Quecksilber füllte nun das Rohr und lief durch dasselbe in die leere Vorlage. War das Niveau des Quecksilbers in beiden Gefässen gleich, so war in der Regel auch das Rohr ganz blasenfrei mit Quecksilber gefüllt. Es wurden nun dicke amalgamirte Kupferdrähte durch die beiden aufgerichteten Hülsen der Vorlagen in das Quecksilber geführt und alsdann der Widerstand des Rohres mittels der oben beschriebenen Brücke mit dem eines Jacobi'schen Widerstandsetalon verglichen[1]).

Der Widerstand der Zuleitungsdrähte wurde dadurch bestimmt, dass beide amalgamirte Kupfercylinder in ein gemeinschaftliches, mit Quecksilber gefülltes Gefäss getaucht wurden. Derselbe erwies sich jedoch als verschwindend klein im Vergleich mit dem Widerstande der Röhren.

Die in der nebenstehenden Tabelle zusammengestellten Versuche wurden so angestellt, dass erst bei der einen Stellung des Commutators der Schieber *BB* so lange verschoben wurde, bis das Galvanometer beim Niederdrücken des Contacthebels *I* keine dauernde Ablenkung zeigte. Darauf werden durch den Commutator die zu vergleichenden Widerstände vertauscht und abermals der Schieber richtig eingestellt. Diese beiden Ablenkungen sind in den mit *a* und *b* bezeichneten Columnen angegeben. Waren die Beobachtungen fehlerfrei, so musste die Summe beider = 1000 sein, was in der Mehrheit der Fälle wenigstens sehr nahe der Fall war. Es ist hierbei noch zu bemerken, dass nach Herstellung des Stromgleichgewichts beim Schliessen der Kette stets ein kleiner Ausschlag von einigen Scalentheilen bemerkt ward im Sinne eines grösseren Widerstandes des aus nebeneinanderliegenden Drahtspiralen gebildeten Jacobi'schen Etalons. Da bei der Oeffnung der Kette ein entgegengesetzter Ausschlag von gleicher Grösse erfolgte, so war dieses offenbar dem Extrastrom in den Drahtspiralen des Jacobi'schen Etalons zuzuschreiben. Ferner stellte sich heraus, dass schon eine Erwärmung des Quecksilbers bei längerer Dauer des Stromes eintrat, obgleich nur eine Daniell'sche Zelle benutzt wurde. Bei der langsamen Schwingung und der grossen Dämpfung der Elongationen meines Spiegels liess sich der hieraus entspringende Fehler leicht dadurch eliminiren, dass man nur kurze Strömungen durch das Instrument gehen liess. Der Schlitten wurde immer so eingestellt, dass beim Schliessen ein schwacher Ausschlag nach links ein-

[1]) Anfänglich benutzten wir anstatt amalgamirter Kupferdrähte Cylinder von Eisen als Zuleitungen. Es stellte sich aber heraus, dass ein sehr beträchtlicher Uebergangswiderstand vom Eisen zum Quecksilber auftrat, obgleich die Oberfläche des Eisens vollständig rein war. Dieser Widerstand, der auch bei unverquicktem Kupfer auftrat, war besonders stark, wenn die Cylinder nach der Reinigung noch einige Zeit an der Luft gelegen hatten, und es ist daher wahrscheinlich diese Erscheinung der auf der Oberfläche condensirten Gasschicht zuzuschreiben.

Tabelle IV.

Röhren	1.		2.		3.		4.		5.		6.	
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Beobachtete Widerstände	605,7	394,3	429,1	570,9	456	543,7	247,6	752,6	227,4	772,8	633,2	366,8
			429,0	571,1	456,3	543,6			227,3	772,8	633,15	366,85
					456,2	543,3					633,10	366,90
					456,2	543,6						
Mittelwerthe	605,7	394,3	429,05	571,0	456,2	543,6	247,6	752,6	227,35	772,8	633,15	366,85
Für $b = 1$	1,536		0,7514		0,8392		0,329		0,2942		1,726	
W_1	1016,52		427,28		555,38		217,73		194,7		1142,3	
$\frac{W}{W_1}$	1,008		1,00		1,0008		0,992		0,994		1,005	

trat, der bei längerer Dauer des Stromes, in Folge der Erwärmung, in eine Ablenkung nach rechts überging. Man konnte nun durch geringe weitere Verschiebung des Schlittens den Ausschlag nach links verschwindend klein machen und dadurch den Einfluss der Erwärmung gänzlich beseitigen.

Die mit W_1 bezeichnete Spalte ist durch Multiplication der vorhergehenden mit der Zahl 661,8 gebildet, welche Zahl durch Vergleichung des berechneten Widerstandes des Rohres No. 2 mit dem Widerstande des benutzten Jacobi'schen Etalons ermittelt ist. Die Zahlen dieser Spalte mussten mithin mit den in Tabelle III berechneten Widerständen der Röhren übereinstimmen. Die in der mit $\frac{W}{W_1}$ bezeichnete Spalte befindlichen Quotienten der berechneten durch die beobachteten Widerstände zeigen, dass die Differenzen nicht grösser sind, wie zu erwarten war. Die wesentlichsten Abweichungen sind bei unseren Messungen dadurch entstanden, dass weder die Temperaturen des Quecksilbers, noch die des zur Vergleichung bestimmten Kupferetalons völlig constant waren. Die Temperatur des Eiswassers schwankte zwischen 0 und 2^0 und die des Etalons zwischen 19 und 22^0 C. Da aber die Leitungsfähigkeit des Kupfers durch Erwärmung um 1^0 C. um etwa 0,4 pCt. vermindert wird, so erklären sich hieraus die 1 pCt. nicht erreichenden Abweichungen vollkommen und es kann nicht zweifelhaft sein, dass die benutzte Methode geeignet ist, Widerstandsetalons bis zu jedem Grade von Genauigkeit zu reproduciren.

Die beobachteten Widerstände der Tabelle IV hätten eigentlich noch um die Grösse des Ausbreitungswiderstandes des Stromes im Quecksilber der Glasgefässe oder des Uebergangswiderstandes vom Querschnitt des Rohrs zu den amalgamirten Zuleitungsdrähten vermindert werden müssen. Man kann diesen Widerstand ohne grossen Fehler als den Widerstand einer Halbkugelschale definiren, deren innerer Radius gleich dem inneren Radius des Rohres und deren äusserer Radius gegen r sehr gross und daher in die Rechnung als unendlich gross einzuführen ist. Der Widerstand einer halben Kugelschale von der Dicke dx und dem Radius x wird ausgedrückt durch

$$dW = \frac{dx}{2x^2\pi}$$

mithin

$$W = \int_r^\infty \frac{dx}{2x^2\pi} = \frac{1}{2r\pi}\ \frac{r}{2r^2\pi}\ .$$

Der Widerstand der Ausbreitung in beiden Quecksilbermassen ist also gleich dem Widerstande einer Verlängerung des Rohrs um die Hälfte seines Durchmessers. Wenn nun auch dadurch, dass die Endflächen des Rohrinhaltes eben und nicht, wie in der Rechnung ange-

nommen, halbkugelförmig sind, noch eine geringe Vergrösserung des Ausbreitungswiderstandes herbeigeführt wird, so ist die Gesammtgrösse desselben doch so gering, dass er füglich vernachlässigt werden konnte.

Die zu den bisherigen Versuchen benutzten geraden Glasröhren sind ziemlich unbequem als Etalons zu verwenden. Ich liess mir daher von Hrn. Geissler in Berlin ähnliche Röhren in Spiralform aufwinden und die aufwärts gebogenen geraden Enden mit kleinen Glasgefässen zur Aufnahme der Zuleitungsdrähte versehen. Diese Glasspiralen wurden, wie Fig. 26 zeigt, am Holzdeckel eines weiteren mit Wasser gefüllten Gefässes befestigt. Die Temperatur des Wassers

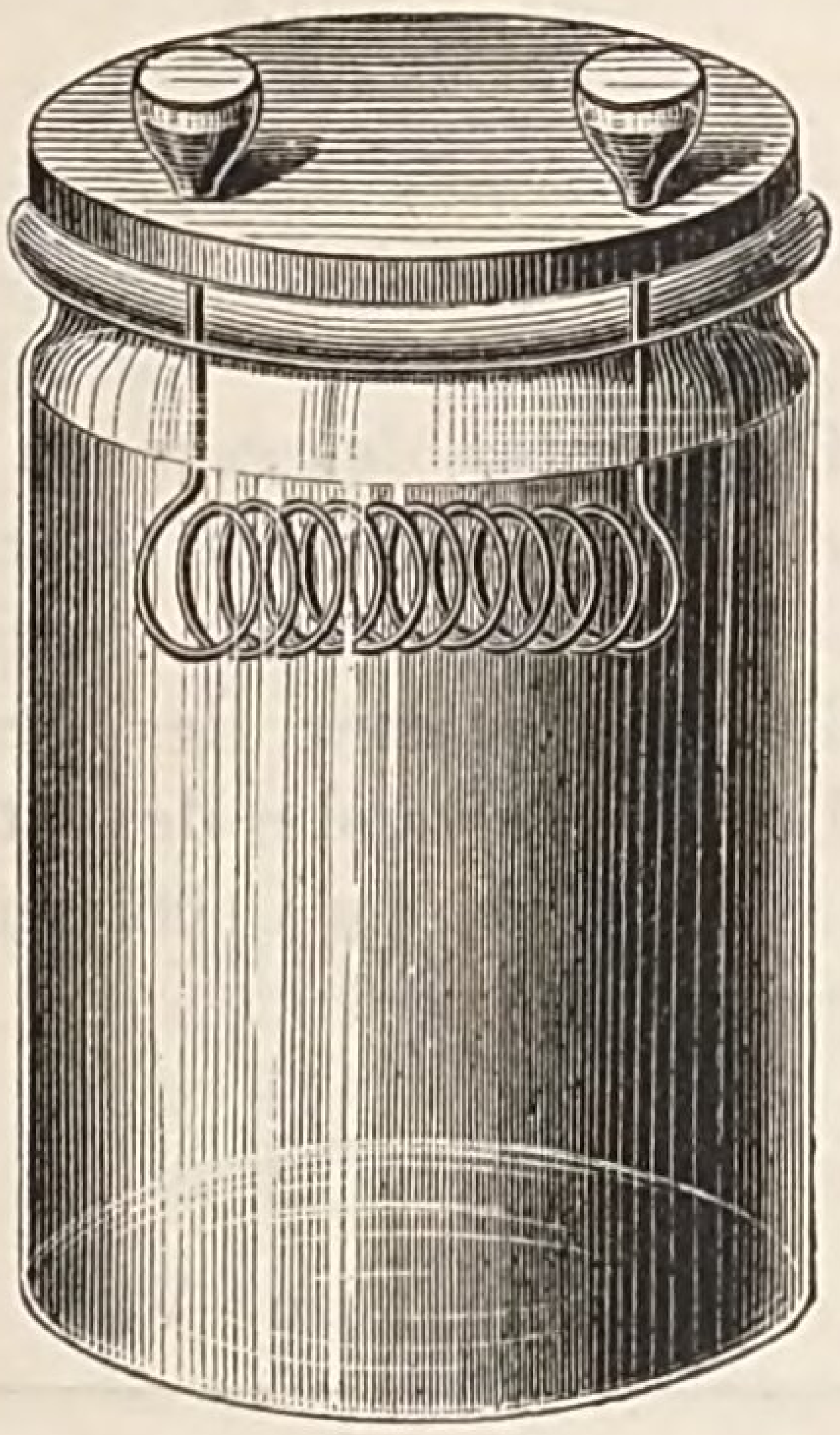


Fig. 26.

ward durch ein Thermometer, welches durch eine Oeffnung im Holzdeckel eingeführt werden konnte, beobachtet. Die blasenfreie Füllung der Glasspiralen mit Quecksilber liess sich leicht dadurch herstellen, dass man mittels eines geeigneten Pfropfens die Mündung des Rohres in einem der Glasgefässe verstopfte, darauf das andere Gefäss mit Quecksilber füllte und dann den Pfropfen vorsichtig lüftete und erst dann ganz entfernte, wenn das Quecksilber langsam sämmtliche Windungen des Rohres durchlaufen hatte.

Da das Quecksilber in der Reihe von Metallen fehlt, für welche Arndtsen[1]) die Veränderung des specifischen Widerstandes mit der Temperatur bestimmt hat, so musste diese Lücke erst ausgefüllt werden. Dies geschah durch Hrn. Dr. Esselbach mit Hülfe der beschriebenen Vorrichtung. Es wurde der Widerstand einer der spiralförmig aufgewundenen Röhren mit dem der geraden Röhren No. 2 zuerst bei der Temperatur des Eiswassers und darauf bei höheren Temperaturen des gewundenen Rohres verglichen. Bezeichnet w den

[1]) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 1.

Widerstand des Rohres No. 2, nach Tabelle III gleich 498,7, ferner $w_{,}$ den Widerstand des gewundenen Rohres und berücksichtigt man, dass die Widerstände der Zuleitungsdrähte zur Röhre 2 und zur Spirale gleich gemacht wurden und den Widerstand von 11 Quecksilberwürfeln von 1 mm Seitenlänge hatten, so ergiebt sich

$$\frac{w + 11}{w_{,} + 11} = \frac{a}{b}$$

wenn a und b die Längen der Stücke des Platindrahtes der Brücke bezeichnen, bei welchen kein Strom durch den Galvanometerzweig ging. Dies war der Fall, wenn

$$\frac{a}{b} = \frac{311,3}{688,7}$$

war, woraus sich

$$w_{,} = 219,4$$

ergab.

Es wurde nun die Temperatur des geraden Rohrs durch schmelzendes Eis fortwährend auf der Temperatur 0 erhalten, während das die Glasspirale umgebende Wasser erwärmt wurde. In der folgenden Tabelle bezeichnet t die Temperatur des geraden Rohres, $t_{,}$ die des gewundenen, a und b die im Zustande des Stromgleichgewichts abgelesenen Drahtlängen, y den gesuchten Coëfficienten, berechnet nach der von Arndtsen aufgestellten Formel

$$\frac{w_{,}(1 + yt_{,}) + 11}{w(1 + yt) + 11} = \frac{a}{b}.$$

Tabelle V.

t	$t_{,}$	a	b	y
0°	47° C.	320,4	679,5	0,000964
0	34,5	318,0	682,0	0,000960
0	16,5	314,6	685,4	0,000981
			Im Mittel	0,000968

Hiernach ist Quecksilber unter allen einfachen Metallen dasjenige, dessen Widerstand sich bei zunehmender Temperatur am wenigsten vergrössert.

Mit Hülfe dieses Coëfficienten ward nun auch der Widerstand der beiden andern Glasspiralen A und B bestimmt, welche später als Normalmasse zur Herstellung von Widerstandscopien in Neusilberdraht benutzt wurden. Der Widerstand der Spirale A war bei 0° gleich 514,45 und der Spirale B = 673,0.

Neusilberdraht eignet sich ganz besonders zur Anfertigung von Widerstandsetalons, weil seine Leitungsfähigkeit sehr gering ist und sich bei Temperaturveränderungen nur sehr wenig, nach Arndtsen um etwa 0,04 pCt. pro Grad Celsius, verändert.

Bisher wurde in der vorliegenden Untersuchung stets der Widerstand eines Quecksilberwürfels von 1 mm Seitenlänge als Einheit des Widerstandes angenommen. Für kleine Widerstände und überhaupt für Widerstandsberechnungen hat diese Einheit manche Vorzüge. Es erscheint aber doch als zweckmässiger, das Widerstandsmass in völlige Uebereinstimmung mit dem Metermass zu bringen. Ich schlage daher vor, als Einheit des Widerstandes anzunehmen:

Den Widerstand eines Quecksilberprismas von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillim. Querschnitt bei 0°.

Sollte dieser Vorschlag allgemeineren Eingang finden, so würden sich alle Widerstandsangaben ohne weitere Umschreibung auf Angaben der Länge in Metermass reduciren. Es würde dann jeder Physiker im Stande sein, sich sein Widerstandsmass selbst so genau, wie seine Instrumente es gestatten und erfordern, darzustellen und die etwaige Veränderung des Widerstandes der im Gebrauch bequemeren Etalons aus Metalldrähten zu controliren. Selbstredend müsste jedoch dabei als Einheit der Leitungsfähigkeit der Körper nicht, wie bisher, die des Kupfers oder Silbers, sondern die des Quecksilbers angenommen werden. Leider liegen nur wenige Vergleiche der Leitungsfähigkeit des Quecksilbers mit der der festen Metalle vor, aus denen sich eine solche Tabelle berechnen liesse und es fehlt auch bei den meisten Vergleichungen der Leitungsfähigkeit der festen Metalle unter sich die Angabe, ob hart gezogene oder ausgeglühte Drähte benutzt wurden. Aus der nebenstehenden Tabelle ergiebt sich aber, dass die Leitungsfähigkeit ausgeglühter Drähte beträchtlich grösser ist wie die der nicht geglühten.

1. Art des Drahtes	2. Länge in Millimeter	3. Gewicht in Milligramm	4. Specifisches Gewicht	5. Widerstand bei 0° Temperatur	6. Leitungsfähigkeit Hg = 1
1) Silberdraht, hart	4014,4	4884,9	10,479	614,55	56,252
ausgeglüht	4014,4	4889,1	10,492	537,2	64,38
2) do. hart	4014,4	3233,1	10,502	896,1	58,20
ausgeglüht	4014,4	3009,6	10,5132	889,08	63,31
3) Kupfer, hart . . .	4014,4	3099,5	8,925	890,5	52,109
4) do. hart . . .	4014,4	4409,1	8,916	622,7	52,382
ausgeglüht	4014,4	4355,2	8,903	599,05	52,013
5) do. hart . . .	2007,2	1260,4	8,916	545,8	52,217
ausgeglüht	2007,2	1252,7	8,894	517	55,419
6) do. hart . . .	2007,2	1263,2	8,916	545,6	52,121
ausgeglüht	2007,2	1241,5	8,894	520,8	55,338
7) Platin, hart	436,4	544,1	21,452	910,6	8,244
8) do. hart	436,4	550,1	21,452	897,7	8,27
9) Messing, hart . . .	1003,6	1406,1	8,473	530,6	11,439
do. geglüht	1003,6	1397,8	8,464	451,7	13,502

Es ist hiernach die specifische Leitungsfähigkeit des ausgeglühten Silberdrahtes um 10 pCt., die des ausgeglühten Kupferdrahtes durchschnittlich um 6 pCt. grösser wie die des nicht ausgeglühten Silbers, resp. Kupfers. Besonders auffallend ist diese Zunahme beim Messing. Da die Härte gezogener Drähte von der Grösse der Ausdehnung nach dem letzten Ausglühen abhängt, so muss sie und ebenso die Leitungsfähigkeit stets verschieden ausfallen, wenn auch das Metall völlig gleichartig ist. Ebenso ist die Höhe der Temperatur, bei welcher die Drähte ausgeglüht wurden, die Dauer des Glühens und die Geschwindigkeit der Abkühlung nicht ohne Einfluss auf die Grösse der specifischen Leitungsfähigkeit. Die Columne 5 der obigen Tabelle ist nach der früher entwickelten Formel

$$W = \frac{l^2 \cdot \sigma}{G} \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

berechnet. Der Correctionscoëfficient für die Conicität, $\frac{1 + \sqrt{a} + \frac{l}{\sqrt{a}}}{3}$, ist bei Metalldrähten fast immer ausser Betracht zu lassen, da er nicht merklich von 1 verschieden ist. Wie ersichtlich, ist diese Methode weit schärfer wie die bisher gebräuchliche, bei welcher der mittlere Durchmesser der Drähte durch directe Messungen zu ermitteln war. Dieser ungenaue Werth ging im Quadrat in die Rechnung ein, wodurch die Ungenauigkeit der Methode noch wesentlich erhöht wurde. Bei der von mir benutzten Methode sind dagegen sämmtliche Data mit grösster Schärfe zu bestimmen, namentlich die Länge, welche hier im Quadrat auftritt.

Vergleicht man die obige Tabelle mit der von Arndtsen aufgestellten, so ergiebt sich, dass der gefundene mittlere Werth der Leitungsfähigkeit des ungeglühten Platindrahtes, nämlich 8,257 und der geringste gefundene Werth für ungeglühtes Silber, 56,252, genau in dem von Arndtsen angegebenen Verhältnisse stehen, während der Widerstand des Kupfers der Arndtsen'schen Tabelle dem des ausgeglühten Kupferdrahtes der meinigen ziemlich genau entspricht. Da das von mir benutzte Silber und Platin chemisch rein war und auch Arndtsen diese Metalle in völliger Reinheit benutzte, so habe ich bei der Berechnung der nachfolgenden Tabellen den Widerstand des Platins und harten Silbers zu Grunde gelegt. Die aus der Arndtsen'schen Tabelle entnommenen Werthe sind mit (*A*), die selbst beobachteten mit (*S*) bezeichnet.

Tabelle VI.

Leitungsfähigkeit der Metalle bei der Temperatur *t*, verglichen mit der des Quecksilbers bei 0°.

Quecksilber		$\frac{1}{1 + 0{,}00095\,t}$	(*S*)
Blei		$\frac{5{,}1554}{1 + 0{,}00376\,t}$	(*A*)
Platin		$\frac{8{,}257}{1 + 0{,}00376\,t}$	(*A*,*S*)
Eisen		$\frac{8{,}3401}{1 + 0{,}00413\,t + 0{,}00000527\,t^2}$	(*A*)
Neusilber		$\frac{10{,}532}{1 + 0{,}000387\,\mathrm{t} - 0{,}000000557\,t^2}$	(*A*)
do.	geglüht	4,137	(*S*)
Messing	hart	11,439	(*S*)
do.	geglüht	13,502	(*S*)
do.	-	$\frac{14{,}249}{1 + 0{,}00166\,t - 8{,}00000203\,t^2}$	(*A*)
Aluminium		$\frac{31{,}726}{1 + 0{,}003638\,t}$	(*A*)
Kupfer		$\frac{55{,}513}{1 + 0{,}00368\,t}$	(*A*)
do.	hart	55,207	(*S*)
do.	geglüht	55,253	(*S*)
Silber,	hart	$\frac{56{,}252}{1 + 0{,}003414\,t}$	(*A*,*S*)
do.	geglüht	64,38	(*S*)

Der Uebersichtlichkeit wegen habe ich die von Arndtsen beobachteten Werthe mit den von ihm angegebenen Correctionscoëfficienten für erhöhte Temperaturen versehen. Ob dieselben bei geglühten und ungeglühten Drähten dieselben blieben, habe ich nicht untersuchen können. Das von mir untersuchte Messing enthielt, wie die in meinem Laboratorio ausgeführte Analyse ergab, 29,8 pCt. Zink und 70,2 pCt. Kupfer.

Schliesslich bemerke ich noch für Diejenigen, welche sich Etalons in der beschriebenen Weise darstellen wollen, dass es nothwendig ist, das Quecksilber vor dem Gebrauch unter einer Decke von concentrirter Schwefelsäure mit einigen Tropfen Salpetersäure etliche Stunden zu erwärmen, damit alle metallischen Verunreinigungen, so wie der absorbirte Sauerstoff, welche seine Leitungsfähigkeit sehr wesentlich vergrössern, vollständig beseitigt werden.

Ueber

Widerstandsmasse und die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Wärme.

(Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 113, S. 91.)

1861.

Dem von mir in diesen Annalen[1]) gemachten Vorschlage eines reproducirbaren Widerstandsmasses ist von Herrn Matthiessen[2]) kürzlich ein anderer gegenüber gestellt worden. Während ich vorschlug, als Einheit des Widerstandes den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0^0 anzunehmen, schlägt Herr Matthiessen vor, die Weber'sche absolute Einheit als allgemeines Widerstandsmass zu benutzen, dasselbe mit dem Widerstande eines Drahtes aus einer Gold-Silber-Legirung zu vergleichen und dann durch Anfertigung von Drähten aus derselben Legirung zu reproduciren.

Der erste Theil des Vorschlages des Herrn Matthiessen hat auf den ersten Blick Manches für sich. Bei näherer Betrachtung sprechen aber sehr überwiegende Gründe dagegen. Ein Mass kann nur dann seinen Zweck erfüllen, wenn es so genau herzustellen ist, wie die Instrumente, denen es dienen soll, es mit anderen vergleichen zu können. Erklärt man sich gegen ein willkürlich gewähltes, durch Copirung zu vervielfältigendes Grundmass, wie Herr Matthiessen es ebenfalls thut, so muss das unmittelbar herstellbare Grundmass nothwendig in solcher Schärfe zu reproduciren sein, dass unsere empfindlichsten Instrumente keine Verschiedenheit wahrnehmen können.

Das ist nun leider bei der Bestimmung des absoluten Widerstandes nach der Weber'schen Methode nicht der Fall. Es ist auch nicht anzunehmen, dass die Methode sich so vervollkommnen liesse, dass der

1) Pogg. Ann. Bd. 110, S. 1.

2) Pogg. Ann. Bd. 112, S. 353.

obigen Anforderung auch nur annähernd genügt würde, da der Bestimmung des absoluten Widerstandes die der Messung der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft nach absolutem Masse vorhergehen muss, alle bei diesen schwierigen Massbestimmungen begangenen Fehler sich also in der Bestimmung des absoluten Widerstandes wiederfinden. Es kann wohl mit Bestimmtheit behauptet werden, dass auch die geübtesten und mit den vollkommensten Instrumenten und Localitäten ausgerüsteten Physiker nicht im Stande sein werden, absolute Widerstandsbestimmungen zu machen, die nicht um einige Procente von einander verschieden wären! Ein Mass, welches so wenig genau ist, würde aber nicht einmal den Anforderungen der Technik genügen. Doch selbst wenn die Möglichkeit gegeben wäre, das absolute Widerstandsmass in hinreichender Schärfe zu bestimmen, so würde man doch noch kein absolutes Mass für die Leitungsfähigkeit der Körper haben, müsste also doch wieder eine Einheit des Leitungsvermögens willkürlich wählen. Dann ist es aber weit bequemer und anschaulicher, das Widerstandsmass als den Widerstand eines prismatischen Körpers aus dem Material, welches man als Einheit der Leitungsfähigkeit angenommen hat, zu definiren. Ausser diesen Gründen eignet sich das absolute Widerstandsmass auch noch aus dem Grunde nicht zur allgemeinen Verwendung, weil es unpraktisch klein ist, und nicht auf einer einfachen geometrischen Vorstellung beruht. So gross daher auch der Werth des absoluten Widerstandsmasses für manche Betrachtungen und Rechnungen ist, und so wichtig es ist, den Werth jedes andern gebräuchlichen Widerstandsmasses in absoluten Einheiten zu kennen, so muss man es doch als ganz unbrauchbar für ein allgemeines Grundmass des Leitungswiderstandes erklären. Herr Matthiessen beschränkt sich übrigens auch auf die Erklärung, „das absolute Widerstandsmass sei das beste und werde es stets bleiben“, ohne Gründe für diese Behauptung anzuführen oder Zahlen anzugeben, welche eine Darstellung vermittelst der Gold-Silber-Legirung ermöglichten. Er will vorläufig nur den Beweis führen, dass Drähte, die aus der von ihm angegebenen Gold-Silber-Legirung gezogen wären, sich vorzugsweise zur genauen Reproduction von Widerstandsmassen und zur Anfertigung von Widerstands-Etalons eigneten. Dieser Beweis ist ihm aber nach seinen eignen Zahlenwerthen durchaus nicht gelungen. Während z. B. seine weichen Drähte No. III die Leitungsfähigkeit 14,92 (die eines harten Silberdrahtes = 100 gesetzt) geben, hatten die weichen Drähte No. VII die mittlere Leitungsfähigkeit 15,16; es bestanden also Abweichungen von mehr als $1^1/_2$ pCt.

Auch wenn man die am wenigsten harmonirenden Zahlen fortlässt, so erhält man doch in den meisten Fällen noch Differenzen, welche 0,01 nahe erreichen. Da nun gute Widerstandsmessapparate ohne Schwierigkeit Messungen gestatten, welche bis auf 0,0001 über-

einstimmen, so folgt schon aus den eigenen Angaben des Herrn Matthiessen, dass sein Vorschlag durchaus verfehlt ist. Selbst wenn die Leitungsfähigkeit der Legirung stets vollkommen dieselbe und die Drähte völlig cylindrisch und homogen wären, so würden sich kleine Widerstände doch nicht mit Genauigkeit vermittelst derselben herstellen lassen, da in den Berührungsstellen der Drahtenden mit den Zuleitungsdrähten immer noch variable Widerstände von wesentlicher Grösse auftreten.

Die Einwände, welche Herr Matthiessen gegen die Anwendung des Quecksilbers als Mass der Leitungsfähigkeit und zur Darstellung von Widerstands-Etalons erhebt, beruhen theilweise auf der irrigen Voraussetzung, dass ich vorgeschlagen habe, die mit Quecksilber angefüllten Glasröhren als Widerstands-Etalons, welche in dauernder Benutzung bleiben sollen, zu verwenden. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Ich habe vorgeschlagen, auf die von mir beschriebene Weise Widerstands-Etalons aus Neusilberdraht herzustellen, welche den Widerstand der vorgeschlagenen Quecksilbereinheit besitzen. Neusilber eignet sich zur Anfertigung von Widerstands-Etalons jedenfalls weit besser wie die kostbare Gold-Silber-Legirung, da sein Leitungsvermögen weit geringer ist und sich noch weniger bei Temperaturschwankungen verändert. Das von Halske und mir zur Anfertigung von Widerstands-Etalons und Scalen benutzte Neusilber hat nur eine Leitungsfähigkeit von 3,22 — die des Quecksilbers = 1 gesetzt —, und sein Widerstand vergrössert sich durch Erwärmung um 1° C nur um 0,000272. Der Einwand des Hrn. Matthiessen, dass man das Quecksilber häufig erneuern müsse, weil es durch die eintauchenden Kupferdrähte verunreinigt würde, kann daher wohl nicht als erheblich angesehen werden, da man sich der geringen Mühe des Füllens der Spiralröhren mit frisch gereinigtem Quecksilber dann leicht unterziehen kann, wenn man neue Etalons anfertigen oder alte controliren will. Ist man übrigens mit der von Hrn. Matthiessen als ausreichend betrachteten Genauigkeit von 1 bis 2 pCt. zufrieden, so kann man auch ohne allen Nachtheil Platin- oder Eisendrähte anstatt der kupfernen als Zuleitungen benutzen, da der Uebergangswiderstand vom Quecksilber zum festen, nicht amalgamirten, Metall nur bei Messungen von grösserer Stärke in Betracht kommt. Dass meine Methode aber wirklich ihren Zweck erfüllt, nämlich die directe Darstellung von Widerstands-Etalons bis zu jeder erforderlichen Genauigkeit gestattet, mögen die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Messungen beweisen, welche zu dem Behufe mit grösster Sorgfalt angestellt wurden, um die von mir in Vorschlag gebrachte Einheit des Leitungswiderstandes, nämlich die eines Quecksilberfadens von 1 m Länge und 1 mm Querschnitt bei 0°, möglichst genau darzustellen. Die Glasröhren wurden absichtlich von sehr verschiedenem Durchmesser gewählt und mit Quecksilber aus verschiedenen Bezugs-

Tabelle I.

No. der Normalröhre	r_0 Berechneter Widerstand des Normalrohrs bei 0°	a Ablesung des Brückendrahtes	Temperatur		w_0 Beobachteter Widerstand des Spiralrohrs		
			t	t_1	S_I	S_{II}	S_{III}
3	555,99	161,4	13,55	14,4	2886,48	—	—
7	1917,32	399,1	15,68	15,8	2886,45	—	—
3	555,99	384,45	14,85	16,15	—	889,48	—
7	1917,32	683	15,98	16,6	—	889,36	—
3	555,99	217,5	15,0	16,2	—	—	1998,0
7	1917,32	489,7	16,22	16,7	—	—	1997,22

quellen, welches auf die angegebene Weise durch Erhitzung mit englischer Schwefelsäure gereinigt war, gefüllt (s. Tab. I).

Die Werthe der drei letzten mit w_0 überschriebenen Columnen sind berechtigt nach der Formel

$$w_0 = r_0 \frac{(1000 - a)\,[1 + \alpha\,(t - t_1)]}{a}.$$

Die Zahlen der mit t überschriebenen Columnen bezeichnen die Temperatur der geraden Normalröhren, t_1 die der zu vergleichenden Spiralröhren. Beide waren stets von bewegtem Wasser umgeben. Für α ist der Werth 0,001 anstatt des früher von mir angegebenen Werthes 0,00095 angenommen, wie später gerechtfertigt werden soll. Der Vergleich der gefundenen Widerstandswerthe der Spiralröhren zeigt, dass die Summe der Beobachtungsfehler nur bei dem Spiralrohr S_{III} $^1/_2$ pro mille erreicht, dass also bis zu dieser Grenze der Genauigkeit die Etalons zuverlässig sind. Sowohl die Normal- wie die Spiralröhren wurden vor dem Gebrauche mit frisch gereinigtem Quecksilber gefüllt. Es ist dies immer vortheilhaft, obschon vielfache Vergleichsversuche mich überzeugt haben, dass sowohl der oxydirende Einfluss der Luft wie die Verunreinigung des Quecksilbers durch Auflösung von Kupfer nach achttägigem Gebrauche der gefüllten Glasröhren noch ohne allen Einfluss auf den Widerstand derselben geblieben waren[1]).

[1]) Da Hr. Matthiessen die Schwierigkeit hervorhebt, sich vollkommen reines Quecksilber in hinreichender Menge zu beschaffen, so scheint er dadurch die Behauptung aussprechen zu wollen, dass er die von mir benutzte, sehr einfache Reinigungsmethode des käuflichen Quecksilbers nicht für ausreichend hält. Zur Beseitigung dieses Zweifels war Hr. Dr. Quincke so gütig, mir eine Quantität seines von ihm selbst mit grösster Vorsicht aus Quecksilberoxyd dargestellten Quecksilbers zu einem vergleichenden Versuche zur Disposition zu stellen. Hr. Dr. Quincke überzeugte sich aber durch eigene Beobachtung, dass nicht die geringste Verschiedenheit des Widerstandes einer meiner Spiralröhren zu erkennen war, als das darin

Ich muss hier den Vorwurf eines groben Irrthums, dessen mich Hr. Matthiessen zeiht, entschieden ab- und auf Denselben zurückweisen. Hr. Matthiessen sagt in der meine Arbeit behandelnden Anmerkung wörtlich: „da Spuren fremder Metalle (0,1 pCt. oder 0,2 pCt.) eine Abnahme in der Leitungsfähigkeit des reinen Quecksilbers verursachen, nicht wie Siemens sagt, eine Zunahme." Ich begreife wirklich nicht, wie ein solcher, so leicht zu constatirender, qualitativer Irrthum sich hat einstellen können. Ich muss meine Behauptung vollständig aufrecht erhalten in Bezug auf alle von mir in dieser Beziehung untersuchten Metalle wenigstens, nämlich Silber, Zinn und Zink.

Ich glaube mich sogar zu dem allgemeinen Ausspruch berechtigt, dass die Leitungsfähigkeit flüssiger Metallgemische die der getrennt nebeneinander liegenden Einzelmetalle in flüssigem Zustande und von derselben Temperatur ist, und dass der Grund der grossen Verminderung der Leitungsfähigkeit starrer Legirungen nur im Erstarrungsprocesse selbst zu suchen ist. Die nachfolgenden Versuche werden zeigen, dass diese Annahme wenigstens grosse Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Der Widerstand eines mit reinem Quecksilber gefüllten Spiralrohres ward auf gewöhnliche Weise mit dem eines ähnlichen Rohres verglichen. Darauf ward das reine Quecksilber aus dem Rohre entfernt und dieses mit Quecksilber gefüllt, in welchem Zink aufgelöst war. Nach der Bestimmung des Widerstandes wurde das im Rohr selbst befindliche Quecksilber sorgfältig aufgefangen und der Gehalt desselben an Zink durch Analyse bestimmt. Derselbe Versuch ward mit Quecksilber, welches weniger Zink enthielt, mehrfach wiederholt. In der nachfolgenden Tabelle enthalten die ersten beiden, mit t und t_1 überschriebenen Verticalspalten die Temperaturen der mit Wasser umgebenen

t	t_1	a	w	m	λ
18,3	18,8	492,6	1,0323	0	
20,1	20,5	357,5	0,7934	1,52	11,2
18,4	18,3	541,5	0,8464	0,76	12,7
20,3	20,6	529,8	0,8870	0,825	11,2

Spiralröhren, die mit a bezeichnete die Ablesung, die mit w bezeichneten die aus den vorherigen Daten berechneten Widerstände des mit

befindliche gereinigte käufliche Quecksilber durch sein frisch gereinigtes, chemisch reines Quecksilber ersetzt worden war. Die Leitungsfähigkeit beider konnte daher wenigstens nicht um 0,0001 verschieden sein, da meine Instrumente eine solche Verschiedenheit noch sicher angeben.

Gleichzeitig überzeugte sich Hr. Dr. Quincke davon, dass der Widerstand der Spirale kleiner wurde, als das Quecksilber mit etwas Kupferamalgam verunreinigt wurde, seine Leitungsfähigkeit sich also beträchtlich vergrösserte.

verunreinigtem Quecksilber gefüllten Spiralrohres, die folgenden den durch Analyse gefundenen Procentgehalt an Zink und die letzte die hieraus berechnete Leitungsfähigkeit des Zinks.

Die Berechnung der Leitungsfähigkeit des Zinks geschah nach der Formel

$$\lambda = \frac{100\,\sigma\,(W - w)}{s.\,m.\,w.} + 1,$$

in welcher W den Widerstand der mit reinem Quecksilber gefüllten Spirale, w den Widerstand des mit zinkhaltigem Quecksilber gefüllten Rohres, m den Procentgehalt an Zink, s das specifische Gewicht des Quecksilbers, σ das des Zinks bezeichnet. Die Formel ergiebt sich aus der Betrachtung, dass das Verhältniss des vom Zink erfüllten Theiles des Querschnittes des Rohres zum gesammten Querschnitt $= \frac{m\,.\,s}{100\,\sigma}$ ist und dass also, wenn q den Querschnitt des gesammten Rohres, q_1 den des von Zink erfüllten bezeichnet,

1) $q : q_1 = 100\sigma : m\,s,$

2) $q_1\,\lambda + (q - q_1) = \frac{1}{w}$ und

3) $q = \frac{1}{m}$ ist.

Für s und σ sind die Werthe 13,56 und 6,9 angenommen.

Die hier gefundene Leitungsfähigkeit des Zinks ist grösser als die von Becquerel gefundene, 8,3, aber beträchtlich kleiner als die von Matthiessen beobachtete, nämlich 18. Letztere Angabe ist wohl als die zuverlässigere anzusehen, da Matthiessen ausdrücklich angiebt, chemisch reines Zink verwendet zu haben. Ist die der Rechnung zu Grunde liegende Annahme richtig, so müsste also flüssiges Zink bei gleicher Temperatur weit schlechter leiten wie festes. Versuche, die mit Zinn, Kupfer und Silber in ähnlicher Weise angestellt wurden, gaben dasselbe Resultat. Bei Kupfer und Silber fällt die Leitungsfähigkeit sogar verhältnissmässig noch weit geringer aus, wie aus der nachstehenden Tabelle für Silber ersichtlich ist.

t	a	w	m	λ
15	602,65	0,6594	0	—
15	603,70	0,6565	0,044	8,8
15	607,9	0,6448	0,21	9,3
15	613,5	0,6301	0,53	7,8

Der Widerstand der Glasspirale ward hier mit einer Einheit aus Neusilberdraht verglichen. Der Silbergehalt ward aber nicht durch nachträgliche Analyse bestimmt, sondern aus der Zusammensetzung berechnet. Das specifische Gewicht des Silbers ist $= 10,5$ gesetzt. Um

zu verhüten, dass sich starres Amalgam in den angeblasenen Glasgefässen abschied, wie es bei langsamem Einströmen des Quecksilbers in das Glasrohr von geringem Querschnitt leicht eintritt, ward es vermittelst einer kleinen Pumpe unter kräftigem Druck hineingetrieben. Es ist allerdings möglich, dass trotz dieser Vorsichtsmassregel der Silbergehalt des im Rohre befindlichen Quecksilbers dennoch etwas geringer ausgefallen ist; es müsste dann aber die Leitungsfähigkeit des flüssigen Silbers noch kleiner ausfallen, wie die Rechnung ergiebt. Sie wäre also noch kleiner im Verhältniss zum flüssigen Zink, während sie 3 mal grösser ist, wenn beide Metalle im starren Zustande sind.

Dass der Widerstand einiger Metalle beim Uebergange aus dem starren in den flüssigen Zustand plötzlich zunimmt, hat Matthiessen für Kalium und Natrium nachgewiesen[1]) doch reichen die verhältnissmässig geringen Unterschiede, welche derselbe für diese Metalle fand, nicht aus, um die hier gefundenen grossen Differenzen zu erklären. Um mir weitere Aufklärung hierüber zu verschaffen, füllte ich eine Glasspirale im Stearinbade mit reinem Zinn. Das Zinn schmolz nach meinem, nicht weiter controlirten Quecksilberthermometer schon bei 224° C. und füllte das Glasrohr vollkommen. Nachdem ich das so gefüllte Glasrohr bis auf 280° erwärmt hatte, mass ich seinen Widerstand, liess es darauf langsam abkühlen, wobei das flüssige Stearin durch Einblasen von Luft in steter Bewegung erhalten wurde, und wiederholte die Widerstandsmessungen, wenn die Temperatur sich einige Zeit constant erhalten hatte. In nachfolgender Tabelle sind diese Messungen zusammengestellt.

No.	a	t	w_t	$\frac{\Delta w_t}{\Delta t}$	α
1	639,6	280	389,22	—	
2	642,7	249	382,51	0,216	0,0026
3	647,05	226	373,21	0,404	0,0099
4	755,25	219,6	176,28	30,77	0,3772
5	767,5	183	157,48	0,514	0,0063
6	792,8	99,5	120,43	0,444	0,0054
7	802,65	66,5	106,8	0,413	0,0051
8	821,3	0	81,57	0,379	0,0046
9	817,15	13,9	87,07		

Die Zahlen der mit w_t überschriebenen Spalte sind nach der Formel

$$w_t = w_0 \frac{1000 - a}{a} - l$$

berechnet, in welcher w_t den Widerstand des Rohres bei der Temperatur t, w_0 den Widerstand desselben bei 0°, a die Ablesung am

[1]) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 177.

Nonius des Brücken-Messinstrumentes und l den Widerstand der Zuleitungsdrähte zur Spirale bezeichnet. Letzterer betrug 111,95 mm oder kleine Einheiten[1]). Die Zahlen der Spalte a sind sämmtlich die Mittel aus zwei Messungen und zwar solcher, bei denen die beiden Brückenzweige durch einen widerstandslosen Commutator vertauscht waren. Messungen, bei welchen die Summe der beiden erhaltenen Ablesungen um mehr als 0,5 mm von 1000 verschieden waren, wurden verworfen. Der Vergleichswiderstand ward durch Eis auf 0^0 erhalten. Mit Quecksilber gefüllt, hatte die Spirale bei 0^0 den Widerstand 742,24. Die Leitungsfähigkeit des Zinks ist mithin $\frac{742,24}{81,51} = 9,1$. Die letzte Messung (9) ist eine am anderen Tage vorgenommene Control-Messung, nach welcher die Leitungsfähigkeit des Zinnes ebenfalls $= 0,1$ wird. Aus den Zahlen der mit $\frac{\varDelta wt}{\varDelta t}$ überschriebenen Spalte, welche die mittlere Widerstandszunahme für 1^0 zwischen den benachbarten Temperaturen enthält, ergiebt sich, dass die Widerstandszunahme des starren Zinnes mit der Annäherung an den Schmelzpunkt in steigender Progression wächst, dass beim Uebergange über den Schmelzpunkt eine sprungweise Vergrösserung des Widerstandes eintritt, welche beinahe das $2^1/_2$fache des Widerstandes bei 0^0 erreicht, dass bei weiterer Erhitzung des flüssigen Zinns die Widerstandszunahme sich allmählich wieder vermindert und etwa 45^0 über dem Schmelzpunkte nur noch ungefähr halb so gross ist wie in der Nähe des Gefrierpunktes. Dividirt man die Zahlen dieser Spalte durch den Widerstand bei 0^0, also durch 81,57, so erhält man den Coëfficienten der Widerstandszunahme für die betreffenden Temperaturintervalle. Der Anblick der Zahlenwerthe, welche in der mit α bezeichneten Spalte zusammengestellt sind, zeigt, dass dieselben sich vom Schmelzpunkte an nach beiden Seiten einer Constante nähern. Es ist wahrscheinlich, dass diese für festes Zinn mit dem von Arndtsen für andere einfache feste Metalle gefundenen Werthe übereinstimmt. Es liegt auch nahe, die für das flüssige Zinn gefundenen Werthe mit dem Coëfficienten des Quecksilbers zu vergleichen, doch fehlt einem solchen Vergleiche die bestimmte Grundlage, da das Quecksilber bei 0^0 flüssig ist, sein Widerstand bei dieser Temperatur, mit welchem die Widerstandszunahme durch den Coëfficienten α verglichen wird, mithin die durch das Flüssigwerden bewirkte Widerstandszunahme schon enthält. Dass eine solche sprungweise Verminderung der Leitungsfähigkeit durch das Flüssigwerden der einfachen Metalle bei allen eintritt, ist wohl mit Bestimmtheit anzunehmen, da dies nicht nur bei den drei hierauf untersuchten — Kalium, Natrium, Zinn — der Fall ist, sondern von mir auch bei in der Kälte

[1]) Als Widerstandsmass ist mithin $^1/_{1000}$ Einheit oder der Widerstand eines Würfels von 1 mm Seitenlänge angenommen.

starren Amalgamen und leichtflüssigen Legirungen beobachtet ist. Bei den letztgenannten ist der Sprung aber sehr viel kleiner als beim Zinn — ein Verhalten, welches den Legirungen überhaupt eigen zu sein scheint und welches vielleicht die eigentliche Ursache der geringen Leitungsfähigkeit derselben bildet. Clausius machte schon darauf aufmerksam[1]), dass der Leitungswiderstand aller reinen Metalle[2]) der absoluten Temperatur nahe proportional sei. In der That lassen sich die vorhandenen Differenzen aus kleinen Ungleichheiten des Leitungswiderstandes bei 0^0 in Folge von geringen Verunreinigungen und unvollkommener Weichheit der verglichenen Metalle vollständig erklären. Nur das Quecksilber machte eine entschiedene Ausnahme. Nach Analogie des Zinns wird sich aber starres Quecksilber wahrscheinlich in hinreichendem Abstande vom Schmelzpunkte ebenfalls den anderen einfachen Metallen anschliessen, die von Clausius bemerkte Thatsache daher alle reinen Metalle umfassen unter der Einschränkung, dass der Abstand vom Schmelzpunkte ausreichend gross sei. Die Abweichungen in der Nähe des Schmelzpunktes lassen sich als eine allmähliche Einleitung und Vollendung des Schmelzprocesses auffassen. Es würde hiernach die Leitungsfähigkeit aller einfachen Metalle beim absoluten Nullpunkt der Temperatur unendlich gross sein, oder der Leitungswiderstand wäre eine die Temperatur begleitende und quantitativ direct von ihr abhängige Erscheinung. Wäre es möglich, diese Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur oder von der im Körper thätigen Wärmemenge, die man wohl ohne wesentliche Abweichung von den Thatsachen sagen kann, auch über den Schmelzpunkt hinaus nachzuweisen, so liesse sich der Leitungswiderstand als eine reine Wärmeerscheinung auffassen, wodurch ein wichtiges neues Verbindungsglied zwischen den beiden Naturkräften — Wärme und Elektricität — gewonnen wäre. Leider liegen bisher noch zu wenig Untersuchungen über die latente Wärme der flüssigen Metalle, die Wärmecapacität derselben und ihre Veränderung mit der Temperatur, sowie auch über den Leitungswiderstand flüssiger und zu höheren Temperaturgraden erhitzter Metalle vor, um diesen vermutheten directen Zusammenhang nachweisen zu können.

Schliesslich füge ich noch zwei Versuchstabellen bei, welche den Beweis liefern, dass die Widerstandszunahme sowohl bei Quecksilber wie bei Kupfer innerhalb des Gefrier- und Siedepunktes als constant zu betrachten ist. Das Quecksilber war destillirt und kurz vor dem Gebrauch unter einer Decke von englischer Schwefelsäure mit einigen Tropfen Salpetersäure bei fortdauernder Bewegung erhitzt. Die beiden

[1]) Pogg. Ann. Bd. 104, S. 650.

[2]) Eisen ist stets kohlehaltig, kann also nicht als einfaches Metall betrachtet werden.

mit diesem Quecksilber gefüllten Spiralröhren wurden in mit Wasser gefüllte Glasgefässe gesetzt, welche mit schlechten Wärmeleitern umgeben waren. Die Temperatur des einen Gefässes wurde möglichst constant erhalten, während die des anderen durch Wasserdampf, welcher hineingeleitet wurde, nach und nach erhitzt wurde. Die Temperatur wurde durch zwei Geissler'sche Thermometer, welche $^1/_{10}$ Gradtheilung besassen, abgelesen. Um sicher zu sein, dass die Temperatur der ganzen Wassermasse gleichmässig war, wurde dieselbe durch Einblasen von Luft in lebhafter Bewegung erhalten.

No.	t_1	t	a	w_t	Δt	Δw_t	$\frac{\Delta w}{\Delta t}$
1	16,93	18,51	308,4	890,73	18,51	14,55	0,78
2	17,34	0	304,9	876,18			
3	17,85	28,59	310,5	899,73	28,59	23,55	0,82
4	18,05	27,79	310,3	898,69	27,79	22,51	0,81
5	18,2	42,24	313,35	911,55	14,45	12,86	0,89
6	18,2	41,14	313,10	910,49	13,35	11,80	0,88
7	18,2	40,49	312,8	909,23	12,70	10,54	0,82
8	18,45	59,59	316,8	926,24	19,10	17,01	0,89
9	18,5	57,14	316,3	924,10	16,65	14,87	0,89
10	18,55	55,29	315,9	922,40	14,80	13,17	0,89
11	18,5	97,44	324,7	960,45	42,15	38,05	0,90
12	18,8	97,14	324,6	960,01	41,85	37,61	0,90
						Gesammtmittel	0,86

Die mit t_1 überschriebene Spalte giebt die Temperatur des Vergleichswiderstandes, die mit t überschriebene die auf die constante Temperatur 17,34 des Vergleichswiderstandes reducirte Temperatur der erwärmten Spirale. Der zu den Messungen der folgenden Tabelle benutzte Kupferdraht war etwa $^1/_5$ mm dick mit Seide umsponnen und auf einen kleinen Rahmen von Hartgummi lose aufgewickelt. Die Enden des Drahtes waren an dicke Kupferdrähte gelöthet, welche den Widerstand 11,9 hatten, während die Zuleitungen der Quecksilberspirale, welche diesmal durch Eiswasser constant auf 0^0 erhalten wurde, nur 1,8 betrug. Der mit dem Kupferdraht umwickelte kleine Rahmen ward in ein mit wohl ausgekochtem Oel gefülltes Reagensglas gesteckt, welches seinerseits in ein mit Wasser gefülltes Gefäss tauchte. Das Thermometer reichte in den Rahmen hinein, war also von dem Drahte, dessen Temperatur bestimmt werden sollte, umgeben. Die Erhitzung des Wassers geschah auf die beschriebene Weise durch Wasserdampf. Durch Regulirung der Dampfbildung liess sich die Temperatur im Reagensrohr lange Zeit vollständig constant erhalten. Der Widerstand, der als Vergleichswiderstand benutzten Quecksilberspirale war bei $0^0 = 1997,5$.

Die mit $\frac{\Delta w}{\Delta l}$ überschriebene Zahlenreihe, welche durch Division der in gleicher Höhe stehenden Zahlen der beiden vorhergehenden Columnen

No.	t_1	t	a	w_t	$\varDelta t$	$\varDelta w_t$	$\frac{\varDelta w_t}{\varDelta t}$
1	0	0,4	433,95	1520,8			
2	—	19,8	448,70	1615,94	19,4	95,14	4,90
3	—	38,1	462,15	1706,01	18,3	90,07	4,92
4	—	53,4	473,25	1783,96	15,3	77,95	5,09
5	—	67,4	482,90	1855,10	16,0	71,14	5,08
6	—	87,3	496,2	1954,24	19,9	99,14	4,98
7	—	19,8	448,70	1615,94			
8	—	49,9	471,00	1768,20	30,1	152,26	5,05
9	—	72,1	486,0	1878,49	22,2	110,29	4,97
10	—	91,4	498,2	1973,06	19,3	94,57	4,90
11	—	38,2	462,3	1708,43			
12	—	54,6	474,15	1790,83	16,4	82,40	5,02
13	—	70,3	484,7	1868,67	15,7	77,84	4,95
14	—	91,4	498,2	1973,06	21,1	104,39	4,94
						Gesammtmittel	4,98

erhalten sind und die Widerstandszunahme durch Erwärmung um einen Grad angiebt, sind in beiden Tabellen hinlänglich übereinstimmend und zeigen, dass die Curve der Widerstandszunahme, sowohl bei Quecksilber wie bei Kupfer als gerade Linie anzunehmen ist. Dividirt man die mittlere Widerstandszunahme durch den Widerstand bei 0°, so erhält man den Coëfficienten α, welcher also für Quecksilber = 0,000985 und für Kupfer = 0,00329 ist.

Sowohl der von mir früher für Quecksilber angegebene Coëfficient 0,00095, wie namentlich der später von Hrn. Schröder van der Kolk[1]) mitgetheilte 0,0008, waren also zu klein. Dass der für Kupfer gefundene Coëfficient 0,00329 so beträchtlich kleiner ist, wie der von Arndtsen angegebene 0,0036, kann seinen Grund darin haben, dass ich käufliches Kupfer von der Leitungsfähigkeit 46,7 benutzt habe, während völlig reines, durch Schmelzen galvanischen Kupfers unter Wasserstoff dargestelltes, die Leitungsfähigkeit 56,4 hatte. Was Herrn Matthiessen zu der am Schlusse seines oben erwähnten Aufsatzes gemachten Aeusserung: dass die gewöhnliche Annahme, die Leitungsfähigkeit des reinen wie käuflichen Kupfers ändere sich gleichmässig mit der Temperatur, „weit von der Wahrheit entfernt“ sei, veranlasst hat, kann ich nicht beurtheilen, da derselbe diesen Ausspruch nicht auf mitgetheilte Versuche stützt.

[1]) Pogg. Ann. Bd. 110, S. 452.

Widerstands-Etalon.

(Notiz von Herrn Poggendorff in Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 120, S. 512.)

1863.

Der Wunsch, zur Vereinigung über ein bestimmtes Mass des Widerstandes gegen den Durchgang elektrischer Ströme beizutragen, hat die bekannten Inhaber der rühmlichst bekannten Telegraphen-Bau-Anstalt veranlasst, eine Anzahl genauer Copien der von Dr. W. Siemens vorgeschlagenen und dargestellten Einheit des Widerstandes eines Quecksilberprismas von 1 m Länge und 1 mm Querschnitt bei 0° (s. Pogg. Ann. Bd. 110, S. 1 und Bd. 113, S. 91, sowie Phil. Mag. March 1863) anzufertigen und dieselben an Physiker und Telegraphen-Techniker mit der Bitte zu übersenden, sich ihrer bei Widerstandsbestimmungen zu bedienen.

Auch mich hat die Güte des Hrn. S. und H. mit einem solchen Widerstands-Etalon versehen, begleitet zugleich von einem anderen in Form von Glasspiralen, die zur Aufnahme von Quecksilber bestimmt sind. Beide Instrumente, sowie Widerstandsscalen von 1 bis 1000 Einheiten, nach dem Gewichtssysteme geordnet, die ebenfalls in gedachter Anstalt verfertigt werden, entsprechen ihrem Zweck gewiss in hohem Grade und verdienen daher die weiteste Verbreitung.

Ueber

Erwärmung der Glaswand der Leydener Flasche durch die Ladung.

(Monatsber. d. Berlin. Akad. 1864, Oct. — Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 125, S. 137.)

1864.

Da es mir wahrscheinlich war, dass die Glaswand der Leydener Flasche durch deren Ladung und Entladung erwärmt werden müsste, so habe ich mir einen Apparat zusammengestellt, durch welchen sich schon sehr geringe Erwärmungen mit Sicherheit erkennen lassen. Das Resultat der damit angestellten Versuche entsprach meinen Erwartungen vollständig. Die Construction des Apparates ist folgende: Ich liess feinen Eisen- und gleich starken Neusilberdraht mit Seide bespinnen. Diese Drähte wurden darauf in etwa 1 dm lange Stücke geschnitten und je ein Neusilberdraht mit einem Eisendraht zusammengelöthet. Die so verbundenen Drähte wurden auf eine mit Kitt aus Kolophonium und Schellack überzogene Glasplatte gelegt, so dass die Löthstellen von 180 Drähten, ohne sich zu berühren, etwa einen Raum von 1 □ dm einnahmen. Durch Niederdrücken mit einem erwärmten Eisen wurden die Drähte im Kitt eingeschmolzen und so auf der Platte befestigt. Nachdem nun die benachbarten freien Enden der Drähte mit einander verlöthet waren und dadurch eine Thermosäule von 180 Elementen gebildet war, ward eine ebenfalls mit Kitt überzogene zweite Glasplatte mit der Kittfläche auf die erste gelegt. Durch vorsichtige Erwärmung wurde der Kitt zwischen den Glasplatten darauf erweicht und ein Theil desselben mit den vereinzelten Luftblasen, welche er umschloss, herausgepresst. Die Thermosäule befand sich mithin jetzt in einer luftfreien Kittfläche genau in der Mitte einer circa 5 mm dicken Glasplatte. Der sämmtlich innere Löthstellen bedeckende, mittlere Theil der Glasplatte wurde nun auf beiden Seiten mit etwa 1 □ dm grossen Stanniol-Belegungen versehen, welche mit isolirten Zuleitungsdrähten verbunden wurden. Ebenso wurden die beiden frei gebliebenen Enden der

Thermosäule mit Kupferdrähten verbunden, welche zu einem empfindlichen Spiegelgalvanometer führten. Der ganze Apparat, mit Inbegriff der äusseren Löthstellen, wurde sorgfältig vor jeder Temperatur-Aenderung geschützt. Es genügte dann schon eine kurze Folge von Ladungen und Entladungen mittels eines Volta-Inductors von etwa 1 Zoll Schlagweite, um die Scale meines Galvanometers aus dem Gesichtsfelde zu treiben, und zwar im Sinne der Erwärmung der zwischen den Begungen liegenden Löthstellen. Diese Ablenkung geht nach Aufhören der Ladungsfolge sehr langsam auf Null zurück. Erst nach mehreren Stunden verschwindet sie gänzlich. Sie ist unabhängig von der Richtung des Ladungsstromes und anscheinend proportional der Zahl der Ladungen und der Schlagweite, bis zu welcher die Ladungstafel geladen wurde. Die Bewegung der Scale beginnt sofort nach der ersten Ladung und schreitet dann regelmässig vor. Berührt man dagegen eine der Belegungen mit dem Finger, so bleibt die Scale noch 2 bis 3 Secunden unbewegt stehen, bevor sie ihre Bewegung beginnt, die gewöhnlich erst ausserhalb des Gesichtsfeldes endet.

Die beobachtete Erwärmung kann weder durch Leitung der Glasmasse, noch durch die Compression derselben durch die Anziehung der Belegungen, noch endlich durch das Eindringen der Elektricität in die den Belegungen zunächst liegende Glasmasse entstehen. Der erste Einwand wird durch die Anordnung des Apparates und die beschriebenen Versuche direct beseitigt. Die Erwärmung durch Compression würde durch die auf sie folgende gleich starke Abkühlung durch Expansion ausgeglichen werden, könnte also keine dauernde Erwärmung hervorbringen, selbst wenn die äusserst geringe Anziehung dazu ausreichte. Ebenso wenig kann die Ursache der Erwärmung im Eindringen der Elektricität in die den Belegungen zunächst liegende Glasmasse gesucht werden, da die Ablenkung dann nicht sofort, sondern erst nach Verlauf etlicher Secunden beginnen könnte. Nimmt man dagegen mit Hrn. Faraday an, dass die Ladung und Entladung auf einem moleculären Bewegungsvorgang in dem die Belegungen trennenden Isolator beruhe, so hat die Thatsache der Erwärmung dieses Isolators nichts Auffallendes mehr.

Zur Frage der Widerstands-Einheit.

(Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 127, S. 327.)

1866.

Im Jahre 1860 veröffentlichte ich in diesen Blättern [1]) eine Methode, mit deren Hülfe es mir gelungen war, Widerstands-Etalons genau zu reconstruiren, und machte den Vorschlag, den Widerstand eines Quecksilberprismas von 1 m Länge und 1 □mm Querschnitt, oder den millionenfachen Widerstand eines Quecksilberwürfels von 1 m Seitenlänge, bei 0^0 Temperatur als Einheit des elektrischen Leitungswiderstandes und gleichzeitig den specifischen Widerstand des Quecksilbers als Einheit des specifischen Widerstandes der Körper anzunehmen. Die Gründe, auf welche ich meinen Vorschlag stützte, waren kurz zusammengefasst folgende:

Die Aufstellung eines willkürlich gewählten oder sich einem in der Natur gegebenen, mehr oder weniger genau anschliessenden materiellen Grundmasses des Widerstandes, welches wie das Normal-Meter-Mass irgendwo deponirt und durch Copirung vervielfältigt würde, ist nicht rathsam, da keine Garantie dafür vorhanden ist, dass der Widerstand desselben sich nicht ändert.

Auch wenn man die Unveränderlichkeit eines solchen Grundmasses sicherstellen könnte, würde die unvermeidliche häufige Copirung und Wiedercopirung der Copien, in Verbindung mit der möglicherweise eintretenden Veränderung ihres Widerstandes, bald unrichtige Etalons in Cours bringen, wie es mit den Copien des Jacobi'schen Normaletalons in so hohem Grade der Fall war.

Das anzunehmende Widerstandsmass muss daher in einer Definition bestehen oder ein absolutes Mass sein, welches man jederzeit und überall reconstruiren kann. Als ein solches würde sich für wissenschaftliche Zwecke vorzugsweise die Weber'sche dynamische Widerstandseinheit eignen, wenn dieselbe in der nöthigen Genauigkeit, die

[1]) Pogg. Ann. Bd. 110, S. 1.

ungefähr die des Vergleiches zweier verschiedener Widerstände sein muss, darstellbar wäre. Da dies aber voraussichtlich nie der Fall sein wird, so eignet sich die Weber'sche Einheit selbst nicht zum allgemeinen Widerstandsmasse, wenn es auch selbstverständlich von der grössten Wichtigkeit ist, dass das Verhältniss der zu wählenden Einheit zur Weber'schen so genau wie möglich bestimmt wird. Da bei der Aufstellung eines allgemeinen Widerstandsmasses die praktischen Vorzüge desselben und nicht die wissenschaftliche Harmonie des gesammten Masssystems in erster Linie berücksichtigt werden müssen, Widerstandsmessungen aber nur in sehr seltenen, streng wissenschaftlichen Fällen mit dynamischen Werthen combinirt, in der weit überwiegenden Mehrzahl der Fälle dagegen zu Vergleichen des Widerstandes von Körpern verschiedener Grösse, Gestalt oder Art benutzt werden, so ist ein Widerstandsmass mit körperlicher Grundlage einem dynamischen vorzuziehen.

Aus diesen Gründen empfiehlt sich das von mir vorgeschlagene Widerstandsmass, bei welchem der Meter als Mass des Raumes und das Quecksilber als derjenige Leiter, welcher sich unzweifelhaft am besten zum Mass der Leitungsfähigkeit eignet, gegeben sind und welches in völlig ausreichender, bei grosser Sorgfalt fast unbegrenzter Genauigkeit reproducirbar ist.

Eine auf die Sache selbst eingehende Widerlegung dieser Gründe habe ich bisher nicht gefunden. Dagegen machte Herr Dr. Matthiessen im Jahre 1861 den Gegenvorschlag, anstatt Quecksilber eine bestimmte Goldsilber-Legirung dem anzunehmenden reproducirbaren Widerstandsmasse zu Grunde zu legen, und in demselben Jahre ernannte die British Association eine Commission, welche über das zweckmässigste Widerstandsmass an die Gesellschaft berichten sollte.

Wer die grossen Schwierigkeiten praktisch kennen gelernt hat, die damit verknüpft sind, eine Legirung homogen und von durchaus gleicher Zusammensetzung herzustellen, Drähte anzufertigen, welche ganz gleichen Querschnitt und Härtegrad haben, bestimmte Längen derselben genau abzumessen, ohne eine Streckung oder Stauchung des Drahtes herbeizuführen, endlich die Enden desselben so mit den dicken Zuleitungsstücken zu verlöthen, dass keine Veränderung des Widerstandes des Drahtes eintritt, wird schon dieser technischen Schwierigkeiten wegen keine Vorliebe für den Vorschlag des Herrn Matthiessen empfinden. Da er denselben später zu Gunsten des Vorschlages der Commission der British Association — deren Mitglied er ist — fallen gelassen hat, so kann ich ihn weiterhin unberücksichtigt lassen.

Seitens dieser Commission liegen jetzt drei Berichte — pro 1862, 1863 und 1864 — an die Gesellschaft vor. Es wird in diesen Berichten die Theorie des Weber'schen Masssystems mit der Ausdehnung auf den Begriff der Einheit der geleisteten Arbeit, welche W. Thomson

ihm gegeben hat, in einer sehr klaren Weise auseinandergesetzt. Der grosse wissenschaftliche Werth der allgemeinen Einführung dieses „systematischen und cohärenten“ Masssystems wird überzeugend geschildert, die von W. Thomson vorgeschlagene Methode der Bestimmung der $\frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit entwickelt und der Gang und die Resultate der angestellten Experimente eingehend auseinandergesetzt. Die Namen W. Thomson und Clerk Maxwell sind hinlängliche Bürgschaft für den hohen wissenschaftlichen Werth dieser Arbeiten. In der That ist es gelungen, die Genauigkeit der Bestimmung eines Widerstandes in absoluten Weber'schen Einheiten, in Vergleich mit der, welche früher von W. Thomson und W. Weber erreicht wurde, beträchtlich zu erhöhen. Die Commission ist aber trotzdem zu der Ueberzeugung gelangt, dass das Weber'sche Widerstandsmass selbst sich zur Widerstandseinheit nicht eignet. Sie macht schon in ihrem ersten Berichte den Vorschlag: einen materiellen Widerstands - Etalon als Grundmass des Widerstandes anzunehmen, welcher dem Werthe 10^{10} Weber'sche Einheiten oder $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ so genau entspräche, wie es mit unseren jetzigen Hülfsmitteln zu bestimmen möglich ist. Dieses materielle Grundmass soll unveränderlich fest bleiben und unter dem Namen Einheit der B. A. oder Ohmad das künftige allgemeine Widerstandsmass bilden. Von Zeit zu Zeit sollen dann neue Bestimmungen dieser Einheit in Weber'schen absolutem Masse angestellt und Reductionscoëfficienten zur Benutzung bei Rechnungen mit dynamischen Werthen publicirt werden. Dem Einwande, dass der Widerstand des Normal-Etalons sich ändern könne, glaubt das aus den Herren Prof. Maxwell, Dr. Matthiessen und Fleeming Jenkin bestehende Subcomité, welches mit der Anfertigung der Normal-Etalons und der davon zu entnehmenden Copien betraut ist, dadurch begegnet zu haben, dass es 10 verschiedene Normal-Etalons aus Legirungen edeler Metalle und aus Quecksilber hergestellt hat und die Copien aus einer Legirung von Silber mit Platin anfertigt. Nach Dr. Matthiessen's Untersuchungen soll der Widerstand dieser Legirungen keiner Aenderung unterworfen sein, während er bei anderen Metallen und Metalllegirungen wesentliche Aenderungen im Laufe zweier Jahre gefunden hat.

Ich will die eben angeführten Beobachtungen Dr. Matthiessen's keineswegs in ihrem Werthe unterschätzen, glaube aber nicht, dass sein Ausspruch, dass die Legirungen von Silber mit Gold oder Platin sich nicht ändern, schon als so feststehend und unbedingt gültig anzusehen ist, um darauf ein für alle Zeit feststehendes Normalmass des Widerstandes begründen zu können! Auffallend ist es, dass Dr. Matthiessen bei Neusilber so beträchtliche Aenderung der Leitungsfähigkeit in kurzen Zeitabschnitten beobachtet hat, während ich gerade

diese Legirung besonders constant gefunden habe. Es zeigt dies, dass bei der Veränderung der Leitungsfähigkeit noch viele unbekannte Factoren auftreten, die erst durch längeres Studium ermittelt werden können. Der von Dr. Matthiessen angeführte Beweis, dass die Gold-Silberlegirung sich nicht ändern könne, da man niemals beobachtet habe, dass eine goldene Kette brüchig geworden sei, kann wohl kaum ernsthaft gemeint sein! Es mag aber gern zugegeben werden, dass die Aenderung des Widerstandes der Normaletalons so wie der Copien so klein sein wird, dass sie ohne praktische Bedeutung für unsere gegenwärtigen Untersuchungen ist. Das Normalmass der B. A. soll aber auch späteren Zeiten dienen, in denen wahrscheinlich unendlich viel höhere Ansprüche an die Genauigkeit eines Masses gestellt werden, wie wir es thun. Aus diesem Grunde ist es schon sehr bedenklich, dass die Commission 10 Normaletalons anstatt eines einzigen aufgestellt hat, wenn sie auch — wie angegeben ist — gegenwärtig bis auf 0,03 pCt. mit einander übereinstimmen. Ginge ferner die Uebereinstimmung des Werthes der B. A. Einheit mit der $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit auch wirklich bis auf 0,1 pCt., wie im Bericht pro 1864 behauptet wird, so wäre dieselbe doch immer noch viel zu gering, um die Einheit der B. A. auch künftig als gleichwerthig mit der $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit erscheinen zu lassen. Muss aber einmal ein Reductionscoëfficient benutzt werden, so ist es ganz gleichgültig, ob derselbe etwas mehr oder weniger von Eins verschieden ist! Es ist übrigens noch keineswegs nachgewiesen, dass diese behauptete grosse Uebereinstimmung der B. A. Einheit mit der $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit auch wirklich stattfindet. Der Anblick, der im Rapport für 1864 gegebenen Versuchs-Tabelle[1]) lehrt, dass zwischen den zu einem Paare combinirten beiden Zahlenwerthen Differenzen bestehen, welche bis über 8 pCt betragen! Auch die mittleren Werthe dieser Paare differiren noch bis zu 1,4 pCt. Wodurch das Subcomité sich für berechtigt hält, bei einer so grossen Verschiedenheit der einzelnen Messungen auf einen wahrscheinlichen Fehler von nur 0,1 pCt. zu schliessen, weiss ich nicht. Welche Methode man auch zur Berechnung des mittleren Werthes der gegebenen Zahlen anwenden mag, man wird durch Fortlassen einiger sehr abweichenden Messungen oder auch einiger mittleren Werthe zu weit grösseren Unterschieden kommen. Meiner Ansicht nach liegt die Sicherheit nur innerhalb der nicht als fehlerhaft verdächtigen und deshalb beibehaltenen Zahlenwerthe. Ist es aber schon unmöglich, aus den vorliegenden Versuchsreihen auf eine so genaue Uebereinstimmung des Werthes der

[1]) Pogg. Ann. Bd. 126, S. 386.

B. A. Einheit mit der wahren $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit, wie das Subcomité sie annimmt, zu schliessen, so stellt sich die wahrscheinliche Verschiedenheit als noch viel grösser heraus, wenn man bedenkt, dass die Werthe der Tabelle mit demselben Apparate unter Anwendung derselben Constanten und Corrections-Coëfficienten und durch dieselben Beobachter erlangt sind. Es ist zwar angegeben, dass die Bestimmung der Constanten bis auf 0,0001 genau gewesen wäre; man muss aber annehmen, dass dies nur in Folge bestimmter individueller Handgriffe und willkürlich gewählter Methoden der Messung erreicht ist. Bekanntlich ist es ganz unmöglich, einen weichen übersponnenen Draht zu einigermassen runden und festen Drahtrolle aufzuwinden, ohne dass er sich ansehnlich streckt. Diese Streckung schwankt mit der Dicke des Drahtes und der Grösse der Drahtspannung beim Aufwinden zwischen 1 und 6 pCt. Es dürfte demnach kaum möglich sein, mit einiger Sicherheit auf die wirkliche Länge des aufgewundenen Drahtes bis auf $^1/_2$ pCt. zu schliessen. Die effective Länge ist aber auf 311,2356 Meter angegeben! Es ist ferner unmöglich, eine Rolle von übersponnenem Drahte rund und concentrisch zu wickeln. Der Umfang, der mittlere Radius, die Dicke der Umwindungsschicht sind mithin unmöglich genau zu bestimmen. Dennoch sind diese Werthe bis auf Tausendstel Millimeter angegeben und sollen bis auf ein Zehntausendstel ihrer Grösse zuverlässig sein! Ob das magnetische Moment des aufgehängten Magnetes und die augenblickliche horizontale Componente des Erdmagnetismus sich auf denselben Grad von Genauigkeit bestimmen lassen, mag hier unerörtert bleiben. Ich halte es nicht für möglich.

Ich bin, wie schon gesagt, weit entfernt davon, die Behauptung aufzustellen, dass die Messungen nicht wirklich in der angegebenen Genauigkeit gemacht wären. Sie können aber nur das Resultat von Proceduren sein, die keine allgemeine Gültigkeit haben.

Bevor nicht die Versuche an anderen Orten, mit ganz neuen Instrumenten und von ganz anderen Experimentatoren wiederholt sind und durch die Vergleichung der dann erhaltenen Resultate mit denen des Subcomités der Beweis geführt ist, dass eine grössere Uebereinstimmung erreicht ist, halte ich mich zu der Behauptung berechtigt, dass die Einheit der B. A. höchstens innerhalb einiger Procente mit der $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit übereinstimmt.

Ich kann aus diesen Gründen meine oben recapitulirten Bedenken gegen die Annahme der materiellen Etalons des Subcomités als Grundlage des allgemeinen Widerstandsmasses nicht für erledigt erachten. Dabei verkenne ich nicht im Mindesten den hohen Werth der durch die British Association veranlassten, möglichst genauen Bestimmung der Weber'schen Widerstandseinheit, bin im Gegentheil der Ansicht, dass der Wissenschaft durch diese werthvolle Arbeit ein wesentlicher Dienst

erwiesen worden ist. Ich glaube aber, die Commission hätte besser gethan, nachdem sie sich überzeugt hatte, dass die Weber'sche absolute Einheit selbst sich zum Normalmasse nicht eignet, keine neue willkürliche Einheit aufzustellen, sondern die von mir vorgeschlagene $\frac{\text{Meter}}{\square\,\text{Millimeter}}$ Quecksilber oder kürzer m . Hg-Einheit mit aller für derartige Arbeiten nöthigen Sorgfalt darzustellen, diese schon sehr allgemein verwendete und dem praktischen Bedürfnisse besonders entsprechende Einheit in genauen Copien zu verbreiten und den Reductionscoëfficienten derselben auf Weber'sches dynamisches Mass so genau wie möglich festzustellen. Das Comité würde dadurch in Uebereinstimmung mit dem Vorschlage Kirchhoff's, dem es sich in dem ersten Berichte anschliessen zu wollen erklärte, geblieben sein, da Kirchhoff sich in seinem im Appendix dieses Berichtes abgedruckten Briefe für Beibehaltung beider Masse erklärte und nicht für die unbedingte und ausschliessliche Annahme des Weber'schen, wie später behauptet ist, eine Ansicht, für welche auch Wilhelm Weber selbst dem Verfasser gegenüber sich aussprach. Dass die m . Hg-Einheit bei einer solchen sorgfältigen Bestimmung durch das mit den reichen Mitteln der British Association ausgerüstete und über so hervorragende Kräfte gebietende Comité vollständig den jetzt erforderlichen Grad der Genauigkeit, d. i. den der Vergleichung zweier verschiedener Widerstände, erreicht haben würde, zeigen sowohl meine ursprünglichen Versuche, wie namentlich die späteren, mit grösserer Sorgfalt angestellten Messungen des Hrn. Sabine[1]). Bei künftigen weiteren Fortschritten in der Genauigkeit physikalischer Messungen wird freilich immer wieder eine genauere Reproduction der m . Hg-Einheit nothwendig werden, es kann dies aber kaum eine merkliche Störung hervorbringen, da die wahre Grösse der Einheit unzweifelhaft feststeht, da die bei der Reproduction sich herausstellenden Differenzen bei gewöhnlichen Widerstandsmessungen wegen ihrer Geringfügigkeit unberücksichtigt bleiben können und da für exacte Messungen eine häufige Controle der benutzten Widerstandsetalons, ihrer wahrscheinlichen Aenderung wegen, doch unvermeidlich ist.

Leider hat die Commission diesen von mir ihr vorgeschlagenen Weg nicht betreten; die mit der Anfertigung der British Association Einheit und der zu verbreitenden Copien derselben betrauten Mitglieder des Subcomités, die HH. Matthiessen und Fleeming Jenkin, haben im Gegentheil sowohl in den erwähnten Berichten an die British Association, wie in besonderen noch näher zu beleuchtenden Aufsätzen[2]) meinen Vorschlag in einer Weise angegriffen, welche bisher bei wissenschaftlicher Kritik nicht gebräuchlich war. Der gemeinsam von ihnen befolgte Plan be-

[1]) Phil. Mag. March 1863, p. 1. — Der Aufsatz ist in der Uebersetzung dieser Arbeit angezogen worden.

[2]) Pogg. Ann. Bd. 125, S. 497 und Pogg. Ann. Bd. 126, S. 369.

steht darin, meinen Vorschlag nicht mit Gründen zu bekämpfen, sondern meine Arbeiten als unzuverlässig und zweifelhaft darzustellen.

Hr. Dr. Matthiessen stellt die beiden Thesen auf:

1. „dass keine wahre Quecksilber-Einheit je aufgestellt ist" und
2. „dass die von Zeit zu Zeit aufgestellten Einheiten nicht denselben Werth repräsentiren".

Beide Sätze will er dadurch rechtfertigen, dass ich nicht das richtige specifische Gewicht des Quecksilbers in Rechnung gezogen hätte, dass zwei Widerstandsscalen, welche in der Londoner Ausstellung pro 1862 ausgestellt waren, um 1,2 pCt. von einander differirt hätten, dass in meinen ersten Bestimmungen der m . Hg-Einheit Differenzen von 1,6 pCt. vorhanden wären und dass seine eigenen Versuche mit den meinigen nicht übereinstimmten.

Die erste Behauptung betreffend, so übersieht Hr. Matthiessen, dass das von mir vorgeschlagene Widerstandsmass in einer Definition besteht, also ein absolutes ist. Dass die von mir dargestellten Widerstandsetalons dieser wahren Einheit völlig entsprächen, habe ich nie behauptet, im Gegentheil wiederholt den Wunsch ausgesprochen, dass sich bald in exacten Messungen geübtere Physiker der Mühe unterziehen möchten, auf dem von mir angegebenen, sehr einfachen und sicheren Wege Etalons herzustellen, welche mit der gegebenen Definition so genau übereinstimmten, wie es mit unseren jetzigen Hülfsmitteln zu erreichen ist. Hr. Matthiessen wäre zu seiner Behauptung nur berechtigt, wenn meine Difinition zweifelhaft oder wenn die angegebene Methode unzuverlässig oder fehlerhaft wäre. Beides ist von ihm nicht nachgewiesen, auch nicht einmal behauptet. Ist die von ihm aufgestellte Thesis aber auch unzweifelhaft falsch, so gebe ich ihm dagegen gern zu, dass das von mir in Rechnung gezogene specifische Gewicht des Quecksilbers nicht richtig ist. Als ich im Jahre 1858 die ersten Versuche darüber anstellte, ob sich die m . Hg-Einheit in hinreichender Genauigkeit darstellen liesse, fand ich die Zahl 13,557 und nahm sie als richtig an, da sie von anderer Seite durch directe Vergleichung der Höhe der Quecksilber- und Wassersäule in communicirenden Röhren Bestätigung fand. Leider ist auch bei den späteren, mit grösserer Sorgfalt und verbesserten Instrumenten ausgeführten Reproductionen der m . Hg-Einheit dieser Coëfficient beibehalten und nicht die Regnault'sche Zahl 13,596 angenommen, deren Richtigkeit seitdem von mehreren Seiten bestätigt ist. Hiernach sind in der That die bisher angefertigten Etalons um 0,287 pCt. zu gross[1]). Nimmt man den

[1]) Nach der benutzten Formel

$$W = \frac{l^2 \cdot \sigma}{Q} \cdot \frac{a + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

Coëfficienten der Zunahme des specifischen Leitungswiderstandes des zu den Widerstandsetalons benutzten Neusilberdrahtes = 0,00272 an[1]), so repräsentiren dieselben die m . Hg-Einheit nicht bei der auf ihnen vermerkten, sondern bei einer um $10^0,5$ C. niedrigeren Temperatur. Es ist ein unbestreitbares Verdienst des Hrn. Matthiessen, zu dieser Berichtigung Veranlassung gegeben zu haben, die übrigens, wie schon hervorgehoben, mit der Beurtheilung des Werthes der m . Hg-Einheit gar nichts zu thun hat.

Hr. Matthiessen behauptet ferner, dass die von Zeit zu Zeit aufgestellten m . Hg - Einheiten nicht denselben Widerstand repräsentirten. Dass die m . Hg-Einheit in meinem Laboratorio in drei verschiedenen Zeitperioden dargestellt ist und jedesmal eine grössere Annäherung an den wirklichen Werth gefunden hat, ist Hrn. M. bekannt. Hr. Sabine hat die Abweichungen dieser drei Reproductionen in folgender Tabelle zusammengestellt:

No. der Röhren	Original-Bestimmung 1859	Erste Reproduction 1860	Zweite Reproduction 1863
3	555,87	555,99	556,05
5	193,56	193,73	193,73
7	—	1917,32	1917,54
8	—	2600,57	2601,46

Die grössten Differenzen zwischen der ersten und dritten Darstellung erreichen mithin noch nicht 0,1 pCt. und nicht nahe 2 pCt., wie behauptet ist. Nach der ersten Bestimmung sind nur einige für den eigenen Gebrauch bestimmte Etalons und Widerstandsscalen angefertigt. Ebenso sind nur Widerstandsscalen für technische Benutzung nach den Werthen der ersten Reproduction angefertigt und in den Verkehr gekommen. Erst den mittleren Werth der dritten Bestimmung habe ich zur Anfertigung von etwa 100 Etalons von je einer Einheit benutzt, welche ich unter mir bekannten, namhaften Physikern, Technikern und wissenschaftlichen Instituten vertheilt habe, um die allgemeine Annahme eines rationellen Widerstandsmasses dadurch zu befördern.

Diese Etalons waren bei ihrer Versendung genau gleich und sind, falls sie sich nicht verändert haben, bis auf 0,05 pCt. mit der wahren m . Hg-Einheit übereinstimmend, wenn sie, wie schon gesagt, bei einer um $10^0,5$ C. niedrigeren Temperatur gemessen werden, wie auf ihnen

in welcher W den Widerstand des Normalrohrs, l seine Länge, Q das Gewicht, σ das specifische Gewicht des Quecksilbers und a das Verhältniss des grössten zum kleinsten Querschnitte des Rohres bezeichnet.

[1]) Pogg. Ann. Bd. 113, S. 4.

angegeben ist. Andere Widerstandsetalons, wie die von den HH. Matthiessen und Jenkin mit Siemens 1864 bezeichneten, sind von mir nicht ausgegeben. Hr. Matthiessen stützt seine Behauptung, dass die von mir aufgestellten Einheiten nicht denselben Widerstand repräsentirten, auf Messungen, die Hr. Jenkin, welcher als Juror der Londoner Ausstellung von 1862 functionirte, an zwei nach dem Gewichtssysteme eingerichteten, von 1 bis 10 000 Einheiten reichenden Widerstandsscalen angestellt hat. Ob Hr. Jenkin richtig gemessen hat, als er zwischen diesen Scalen eine Differenz von 1,2 pCt. fand, weiss ich nicht. Ganz unbegreiflich ist es mir aber, wie Hr. Dr. Matthiessen derartige, technischen Zwecken dienende Widerstandsscalen mit Massetalons in eine Linie stellen, und wie er eine so schwere Anschuldigung, wie er sie vorgebracht hat, ausschliesslich auf die uncontrolirte Aussage eines Ausstellungsjurors basiren kann! Er sollte doch wissen, dass Berührungsstellen fester Metalle stets einen veränderlichen Widerstand hervorbringen, dass also die 20 Stöpselcontacte, welche der Strom bei diesen Scalen ganz oder theilweise durchlaufen muss, einen nachtheiligen Einfluss auf die Genauigkeit der Widerstandsangaben ausüben müssen. Er sollte ferner die grossen Schwierigkeiten, die sich anfänglich der fehlerfreien Summirung von 10 000 Einheiten entgegenstellten, zu würdigen wissen. Die eine dieser Scalen, von Hrn. Matthiessen mit Siemens (London) bezeichnet, war eine der ersten, bereits im Jahre 1859 nach einer noch unvollkommenen Summirungsmethode zum eigenen technischen Gebrauche angefertigten, nach dem Gewichtssysteme eingerichteten Widerstandsscalen. Sie bildete den einen Widerstandszweig einer sogenannten Messbrücke, mit welcher die Widerstandsmessungen während und nach der Legung des Kabels durch das rothe Meer nach Indien ausgeführt waren, und fand wegen des sich an diese erste Messbrücke knüpfenden historischen Interesses Aufnahme in den Ausstellungsräumen, da mit ihrer Hülfe die bis dahin gebräuchlichen nichtssagenden Stromangaben bei submarinen Kabeln zuerst in exacte Widerstandsangaben verwandelt wurden. Diese älteren Messbrücken wurden später von Neuem regulirt und mit den nach einer verbesserten Summirungsmethode angefertigten, von den HH. Matthiessen und Jenkin mit Siemens (Berlin) bezeichneten Widerstandsscalen übereinstimmend gemacht. Herr Matthiessen behauptet nun aber, dass auch diese später angefertigten Widerstandsscalen um etwa 0,5 pCt. grösser gewesen wären, wie die 1864 von mir ausgegebenen Widerstandsetalons. Er schliesst dies aus dem Widerstande eines Kupferdrahtes, welchen Hr. Jenkin während der Ausstellung von 1862 mit dem der Scalen verglichen habe. Welche Temperatur der Kupferdraht bei beiden, vier Jahre aus einander liegenden Messungen hatte, ist nicht angegeben. War dieselbe nur um $1^1/_2{}^0$ C. verschieden, so erklärt sich dadurch die Differenz vollständig! Jeden-

falls waren die HH. Matthiessen und Jenkin nicht berechtigt, eine einzelne, von ihnen selbst angestellte, so zweifelhafte und unsichere Bestimmung dazu zu benutzen, in allen Tabellen der Berichte des Comités, sowie in ihren eigenen Mittheilungen neben der Columne „Siemens 1863" noch die beiden andern: Siemens (Berlin) und Siemens (London) aufzuführen und dadurch den unrichtigen Schein zu verbreiten, als coursirten in der That von mir ausgegebene Etalons der m . Hg-Einheit von so verschiedenem Widerstande!

Eine ähnliche Bewandtniss hat es mit der mehrfach wiederholten Behauptung, dass zwischen meinen Bestimmungen der m . Hg-Einheit Differenzen von 1,6 pCt. beständen, dies also die zu erreichende Grenze der Genauigkeit wäre. Es kommt allerdings in meiner ersten, 1860 publicirten Arbeit über diesen Gegenstand eine solche Differenz vor. Ich habe aber damals auch den Grund angegeben, nämlich Temperaturschwankungen des zum Vergleich dienenden Kupferdrahtes bis 3° C. und des mit Quecksilber gefüllten Normalrohrs bis 2° C. Es waren ferner absichtlich wenig cylindrische Röhren gewählt, da die beschriebenen Versuche nicht den Zweck hatten, Normaletalons darzustellen, sondern den Beweis zu führen, dass die vorgeschlagene Methode zu einer solchen Darstellung geeignet sei. Für den praktischen Gebrauch war damals eine Genauigkeit von 1/2 pCt. ausreichend. Ist doch Hr. Matthiessen selbst in jener Zeit mit Werthangaben für die Leitungsfähigkeit der Metalle zufrieden, welche mehrere Procente von einander abweichen.

Die von mir ausgegebenen Widerstandsetalons sind sämmtlich nach den Werthen der dritten, durch Hrn. Sabine ausgeführten Reproduction regulirt. Ein Blick auf diese nachfolgend abgedruckte Arbeit wird die Ueberzeugung geben, dass dieselbe mit grösster Sorgfalt durchgeführt wurde, und dass die von mir behauptete Uebereinstimmung der angefertigten Etalons mit der wahren m . Hg-Einheit innerhalb 0,05 pCt. nicht auf zweifelhaften Mittelwerthen beruht, sondern, dass sämmtliche Normalröhren innerhalb dieser Grenze das gleiche Resultat geben. Diesen Messungen stellt Hr. Matthiessen nun seine eigenen gegenüber, welche einen um 0,8 pCt. grösseren Werth gegeben haben. Einen Grund für diese Abweichung oder für die Unzuverlässigkeit meiner Methode oder der Sabine'schen Messungen hat er nirgends angegeben. Mindestens hätte er seine Arbeit dann aber mit gleicher Sorgfalt anstellen und die benutzte Methode, wenn er sie nicht vollständig befolgen wollte, nicht in wesentlichen Punkten verschlechtern dürfen! Hr. Matthiessen wendet eine Correctionsformel für die conische Form der Röhren an, welche grössere Abweichungen giebt, wie die meinige, da er sich das Rohr aus cylindrischen Stücken anstatt aus conischen zusammengesetzt vorstellt. Dadurch wird der berechnete mittlere Querschnitt kleiner, der berechnete Widerstand des Rohres

mithin zu gross. Ferner füllt er das Rohr durch Eintauchen in eine mit Quecksilber gefüllte Rinne und hebt es aus diesem Bade, indem er seine Enden zwischen zwei Finger presst. Natürlich werden dadurch die Rohrenden mit der weichen Haut seiner Fingerspitzen anstatt mit Quecksilber ausgefüllt, wodurch der Inhalt des Rohres zu klein, der berechnete Widerstand mithin zu gross wird. Eine Unrichtigkeit in gleichem Sinne kann möglicherweise auch noch daraus hervorgegangen sein, dass Hr. Matthiessen die Vorsicht nicht befolgt hat, die zu vergleichenden Widerstände bei jeder Messung durch einen Commutator zu verwechseln und nur diejenigen Messungen als zuverlässig zu betrachten, welche sich zu 1000 ergänzen. Ohne diese Vorsicht erhält man sehr leicht falsche Messungen durch Erwärmung des dünnen Platindrahtes der Brücke.

Sollten diese von Hrn. Matthiessen bei seiner Reproduction begangenen Fehler auch den bedeutenden, von ihm gefundenen Unterschied von 0,8 pCt. noch nicht vollständig erklären, so genügen sie doch, um zu zeigen, wie gering der Grad von Sorgfalt war, welchen er bei derselben aufgewendet hat. Als ein Beweis der Unrichtigkeit meiner Messungen und namentlich der sehr viel umfassenderen und genaueren Bestimmungen des Hrn. Sabine können sie keinesfalls gelten.

Hr. Jenkin bringt in seinem Aufsatze „Ueber die neue von der *B. A.* adoptirte elektrische Widerstandseinheit[1]“ keine neuen Gesichtspunkte, verwerthet aber die schon behandelten Schlussfolgerungen und Versuche des Hrn. Matthiessen in noch ausgedehnterer Weise als dieser. Von Interesse ist seine Mittheilung, dass vier von den von mir 1864 vertheilten Etalons der m . Hg-Einheit von vier verschiedenen Beobachtern mit vier Copien der *B. A.* Einheit verglichen sind und die Werthe 1,0456; 1,0455; 1,0456 und 1,0457 ergeben haben. Es ist mithin der mittlere Werth dieser Beobachtungen oder 1,0456 multiplicirt mit dem Correctionscoëfficienten für das richtige specifische Gewicht des Quecksilbers also $\frac{13,596}{13,557} \cdot 1,0456$ oder 1,0486 der Werth einer Einheit der *B. A.* in m . Hg-Einheiten oder

$$1 \text{ m Hg E} = 0,9536 \; B.\,A.\,\text{E}.$$

Bei der nachgewiesenen, noch bestehenden Unsicherheit des Verhältnisses der *B. A.* U. zur $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Einheit kann man mithin gegenwärtig einen in m . Hg-Einheiten ausgedrückten Widerstand durch Abzug von 5 pCt. möglichst genau in 10^{10}faches Weber'sches Mass oder 10^7 faches $\frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ Mass verwandeln.

[1]) Pogg. Ann. Bd. 126, S. 369.

Die historische Uebersicht über die Reihenfolge der Vorschläge von Widerstandsmassen und die Fortschritte im Gebiete der Widerstandsmessungen, welche Hr. Jenkin seinem Aufsatze vorausschickt, veranlasst mich noch zu einigen Bemerkungen zur Berichtigung mich betreffender Irrthümer und Uebergehungen.

Vollständige Widerstandsscalen, von 1 bis 100 reichend, mit dem Widerstande eines Kupferdrahtes von einer Linie Durchmesser und einer geographischen Meile Länge bei 20° C. als Einheit, sind bereits seit 1848 in grosser Zahl in dem Berliner Etablissement von Halske und mir angefertigt, vielfach beschrieben und weit verbreitet worden. Hr. Jenkin sagt: „Bis zum Jahre 1850 waren Widerstandsmessungen bis auf wenige Ausnahmen auf das Laboratorium beschränkt; als aber zu dieser Zeit unterirdische und bald darauf unterseeische Telegraphenleitungen eingeführt wurden, erkannte bald der praktische Ingenieur, von welchem Vortheil ihm bei der Untersuchung und Einrichtung die Kenntniss der Elektricitätsgesetze wäre." Es sollte Hrn. Jenkin bekannt sein, dass bereits in den Jahren 1847 und 1848 unterirdische Leitungen von bedeutender Länge in Deutschland gebaut waren. Bei der Herstellung dieser Leitungen und bei der Ausführung der leider oft nothwendigen Fehlerbestimmungen nach den von mir beschriebenen Methoden hatte der praktische Ingenieur schon damals vielfach Gelegenheit, genaue Widerstandsmessungen anzustellen und den Nutzen der Kenntniss der Naturgesetze schätzen zu lernen! Vollständige, nach dem Gewichtssysteme eingerichtete Widerstandsscalen von 1 bis 10 000 Einheiten m . Hg wurden schon im Jahre 1859 vielfach bei den Kabelprüfungen, die meinem Bruder Wilhelm und mir in England oblagen, benutzt. Es wird Hrn. Jenkin noch in der Erinnerung sein, dass er selbst die Prüfungen des indischen Kabels in Birkenhead unter meiner Leitung mit Hülfe solcher Scalen ausführte. Er hätte in seiner „historischen Uebersicht" nicht vergessen sollen, hervorzuheben, dass bereits in unserem Berichte über das Rothe-Meer-Kabel im Jahre 1859 die Leitungs- und Isolationsverhältnisse desselben in m . Hg-Einheiten angegeben waren, und dass die von uns hierbei befolgte Methode, den Widerstand zu messen, welchen die isolirende Hülle dem elektrischen Strome entgegensetzt, und denselben mit dem aus dem specifischen Widerstande des isolirenden Materials berechneten Widerstande zu vergleichen, die Grundlage des von uns eingeführten, rationellen Kabelprüfungssystems bildet, welches mit geringen Abweichungen in Methoden und Instrumenten noch jetzt allgemein in Anwendung ist. Hr. Jenkin hätte ferner den Vortrag[1]) meines Bruders in der 18. Sitzung der British Association nicht ganz mit Stillschweigen übergehen sollen, in

[1]) Outline of the principles and practice involving in dealing with the electrical conditions of Submarine electric telegraphs by Werner and C. W. Siemens, Report of the British Association, Oxford 1860.

welchem unser System der Kabelprüfungen vor, während und nach der Legung und der Fehlerbestimmung durch Widerstandsmessungen erschöpfend behandelt ist. Dass ausser den von mir aufgestellten Fehlerbestimmungsmethoden noch andere vorhanden sind, ist mir bisher nicht bekannt geworden. Hinsichtlich der m . Hg-Einheit giebt Hr. Jenkin — ohne Anführung eines Publicationscitates — Marié Davy die Ehre des Vorschlages des Quecksilbers, als „eines für ein Normalmass passenden Materials“, und vindicirt mir nur das Verdienst, „dass meine mit grösster Sorgfalt angefertigten Rollen und Apparate die Beobachtung einer stricten Genauigkeit wesentlich gefördert hätten“. Er verschweigt dabei, dass diejenigen, welche schon früher auf Quecksilber als ein geeignetes Material aufmerksam gemacht haben, keine Methode angaben, mit deren Hülfe sich genaue Etalons vermittelst Quecksilbers darstellen liessen.

Hr. Jenkin wird selbst zugeben müssen, dass seine „historische Uebersicht“ merkwürdig unvollständig ist!

Ueber

das Bewegungsgesetz der Gase in Röhren.

(Auszug aus: Ueber die pneumatische Depeschenbeförderung in Berlin. Ztschr. d. deutsch-österr. Telegr.-Vereins Bd. 13.)

1866.

Die Frage, ob die Beförderung von Briefen, Depeschen etc. durch Röhren vermittelst pneumatischen Druckes in grösserem Massstabe mit Nutzen anwendbar ist, und welches die vortheilhafteste Construction der Röhrenleitung, der Stationseinrichtung, der Behälter für zu befördernde Gegenstände und endlich des pneumatischen Apparates ist, hängt wesentlich von dem Gesetze der Bewegung der Luft in den Röhren ab. Ohne dieses genau zu kennen, ohne die Grösse der Einwirkung der verschiedenen die Geschwindigkeit der Luftbewegung in allen Theilen der Rohrleitung bedingenden Factoren bestimmt zu haben, hat man keine bestimmte Basis für die Construction und tappt im Finstern. Es giebt nun zwar eine Menge von Formeln für die Bewegung von Gasen in Röhren; sie sind aber sämmtlich nur auf Erfahrungen gestützt, welche bei sehr geringem Druck und verhältnissmässig sehr weiten Röhren gewonnen sind und sich für engere Röhren und grössere Druckdifferenzen, wie sie zur Erzielung ansehnlicher Geschwindigkeit nothwendig sind, als unzureichend erweisen. Es war daher nöthig, vorerst das Bewegungsgesetz der Gase in Röhren auf experimentellem Wege zu ermitteln.

Die Versuche konnten natürlich in der kurzen disponiblen Zeit nicht mit voller wissenschaftlicher Strenge durchgeführt werden. Man musste sich auf Röhren von geringem Durchmesser und geringer Länge beschränken, und die Druckdifferenz konnte das Maximum von $^1/_3$ Atmosphäre nicht überschreiten. Da es sich jedoch hier um einen praktischen Zweck handelte, so waren die auf diese Weise erreichbaren Näherungsformeln völlig ausreichend. Die benutzte Methode war folgende:

Es wurden gezogene Bleiröhren von verschiedenem Durchmesser und verschiedener Länge verwendet. Durch eine Pumpe mit Schwungrad und Kurbel, welche entweder als Saug- oder als Druckpumpe oder gleichzeitig als Saug- und Druckpumpe benutzt werden konnte, wurde die Luft in einem im Verhältniss zum Volumen des Pumpenstiefels grossen Reservoir verdünnt oder verdichtet. Das Reservoir communicirte durch das Rohr, in welchem die Geschwindigkeit der Luft gemessen werden sollte, mit der Atmosphäre. Der im Reservoir befindliche Druck wurde durch ein Quecksilbermanometer gemessen. Es war nun leicht, die Kurbel der Pumpe so schnell zu drehen, dass der Druck im Reservoir eine constante Grösse beibehielt, dass also in derselben Zeit stets die gleiche Menge Luft in das Reservoir gepumpt wurde, wie sie das Rohr abführte, oder umgekehrt. Das Rohr endete in einen sorgfältig construirten Gasmesser, welcher genau die Luftmenge angab, die in einer gewissen Zeit das Rohr passirte. Die gemessene Luftmenge, dividirt durch den Querschnitt des Rohres, ergab nun die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft von atmosphärischer Dichtigkeit aus dem Rohre in den Gasmesser trat, wenn im Reservoir ein höherer Druck herrschte, oder umgekehrt die Geschwindigkeit, mit welcher sie in das Rohr eintrat, wenn die Pumpe saugend wirkte. Da stets dieselbe Luftmasse in derselben Zeit aus- und eintreten muss, wenn die Strömung eine gleichförmige geworden ist, so kann man aus der gemessenen Luftmenge vermittelst des Mariotte'schen Gesetzes leicht die Geschwindigkeit derselben am entgegengesetzten Ende der Rohrleitung berechnen. War z. B. die Luft im Reservoir auf $^1/_2$ Atmosphäre verdünnt, und ergab sich die Geschwindigkeit der Luft von atmosphärischer Spannung beim Eintritt in das Rohr gleich 50 Fuss, so musste dasselbe Luftquantum beim Austritt in das Reservoir das doppelte Volumen annehmen, die Geschwindigkeit musste daher hier 100 Fuss gross sein. Ebenso konnte man die Geschwindigkeit in den übrigen Theilen des Rohres durch Messung des Druckes, unter welchem die Luft die betreffende Stelle passirt, mittelst eingeschalteter Manometer bestimmen. Durch Wiederholung dieser Versuche mit Röhren von gleichem Durchmesser und verschiedener Länge, sowie mit Röhren von gleicher Länge und verschiedenem Durchmesser wurde nun der Einfluss der Länge und des Durchmessers auf die Bewegungsgeschwindigkeit der Luft ermittelt, um so schliesslich zur Bestimmung derselben als Function des Anfangs- und Enddrucks und der Röhrendimensionen nebst einer von der Natur der inneren Röhrenfläche abhängigen Constanten zu gelangen.

In dem Anhange sind einige der zahlreichen Versuchsreihen, welche angestellt wurden, aufgeführt. Dieselben führten zu folgender Formel für die Endgeschwindigkeit $v_{\prime}$ der Luft im Rohre, aus welcher sich

dann die Anfangsgeschwindigkeit $v_{\prime\prime}$ und allgemein die Geschwindigkeit v an irgend einem Punkte in der Entfernung x, vom Anfang des Rohres gemessen, endlich noch die mittlere Geschwindigkeit $v' = \frac{v_{\prime} + v_{\prime\prime}}{2}$ ergiebt. Darin bezeichnet l die Länge des Rohres, d dessen lichten Durchmesser, h den Druck der Luft beim Eintritte, $h_{\prime}$ den Druck derselben beim Austritte, also $h - h_{\prime}$ den wirksamen Ueberdruck, endlich a die vorhin erwähnte Constante.

I. Die Endgeschwindigkeit: $v_{\prime} = a \cdot \frac{h - h_{\prime}}{h} \cdot \sqrt{\frac{d}{l}}$.

II. Die Anfangsgeschwindigkeit: $v_{\prime\prime} = a \,.\, h_{\prime} \frac{h - h_{\prime}}{h^2} \cdot \sqrt{\frac{d}{l}}$.

III. Die Geschwindigkeit in der Entfernung x vom Rohranfang:

$$v = a \cdot \frac{(l - x) h_{\prime} + x h}{l} \cdot \frac{h - h_{\prime}}{h^2} \cdot \sqrt{\frac{d}{l}}.$$

IV. Die mittlere Geschwindigkeit: $v' = a \cdot \frac{h^2 - h_{\prime}^2}{2 h^2} \cdot \sqrt{\frac{d}{l}}$.

Wie die Versuchsreihen ergaben, sind diese Formeln nur Näherungsformeln. Die mittlere Geschwindigkeit der Luft nimmt in Wirklichkeit schneller zu, als die Wurzeln aus den Rohrdurchmessern. Diese Abweichung rührt wahrscheinlich von der auf der Röhrenwand durch Molecularanziehung festgehaltenen und den Querschnitt vermindernden Luftschicht her, die bei engen Röhren nicht ausser Betracht zu lassen ist. Da der hierdurch entstehende Fehler eine grössere Geschwindigkeit der Luft in weiteren Röhren bedingt, also bessere Resultate in praxi hervorbringt, als die Rechnung ergiebt, so konnte darüber fortgegangen werden.

Die in den Formeln vorkommende, von der Natur der inneren Rohrfläche abhängige Constante a ergiebt sich aus den Versuchsresultaten $= 15\,950$. Berechnet man mit Benutzung dieser Zahl die mittlere Geschwindigkeit der Luftbewegung in einem Rohre von 13 000 Fuss Länge und 3 Zoll Durchmesser für eine Druckdifferenz von 1 Atm., so erhält man

1) bei einer Atmosphäre Ueberdruck,
 also $h = 2$,
 $h_{\prime} = 1$ Atm. eine mittlere Geschwindigkeit von 26,2′ pro Secunde,

2) bei einer Atmosphäre Unterdruck,
 also $h = 1$
 $h_{\prime} = 0$ Atm. eine mittlere Geschwindigkeit von 35,0′ pro Secunde,

3) bei $^1/_2$ Atmosphäre Ueber- und $^1/_2$ Atmosphäre Unterdruck, also $h = 1^1/_2$
$h_, = {}^1/_2$ Atm. eine mittlere Geschwindigkeit von $31{,}1'$ pro Secunde.

Es ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dass man auch bei langen Röhrenleitungen von mässiger Weite mit praktisch ausführbaren Druckdifferenzen eine ausreichende Geschwindigkeit der Luftbewegung im Rohre erzielen kann. Richtet man den Behälter für die zu transportirenden Gegenstände so ein, dass er mit sehr geringer Reibung das Rohr durchläuft, so ist die Geschwindigkeit der Depeschenbeförderung nahezu zusammenfallend mit der der Luftbewegung.

Von dem geringen Trägheitsmoment der Masse des Behälters kann man hierbei ebenso wie von der Trägheit der Luft selbst ganz absehen, da beide Kräfte gegen die zu überwindende Reibung der Luft im Rohre fast vollständig verschwinden. Ganz anders würde sich aber das Verhältniss herausstellen, wenn der Behälter der Depeschen eine in Betracht kommende Kraft zur Fortschiebung im Rohre in Anspruch nähme. In diesem Falle müsste hinter dem Behälter eine um so viel grössere Compression der Luft stattfinden, wie vor demselben, dass der Druckunterschied den Reibungswiderstand der Luft an der Rohrwand compensirte. Dies würde unter sonst gleichen Verhältnissen eine sehr wesentliche Geschwindigkeitsverminderung hervorbringen. Namentlich würde dieser Nachtheil bei verhältnissmässig engen Röhren eintreten. Es ist daher nothwendig, den Depeschenbehälter möglichst ohne Reibungswiderstand, also auf Rädern von möglichst grossem Durchmesser laufen zu lassen. Die Dimensionen der Rohrleitung sind durch das Bedürfniss bedingt. Da die Geschwindigkeit nur wie die Wurzeln der Rohrdurchmesser — unter sonst gleichen Verhältnissen — zu- und wie die Wurzeln aus den Rohrlängen abnimmt, so kann man, ohne die Druckverhältnisse an den Rohrenden zu ändern, die Beförderung auf pneumatischem Wege soweit ausdehnen, als man den Durchmesser proportional der Länge des Rohrs vergrössern kann. Durch ein doppelt so weites Rohr kann man also die doppelte Entfernung bei gleichen Druckverhältnissen mit gleicher Geschwindigkeit durchlaufen.

Zu dem vorliegenden Zwecke der Beförderung telegraphischer couvertirter Depeschen wird ein Rohrdurchmesser von 3 Zoll ausreichen, da man den Couverts keine grössere Breite als 2 bis höchstens $2^1/_2$ Zoll zu geben braucht.

Zur Hin- und Herbeförderung der Depeschen könnte man nun ein einfaches Rohr benutzen, indem man durch die auf der Centralstation aufgestellte Maschine ein Reservoir evacuiren und ein anderes mit comprimirter Luft anfüllen liesse und dann das Ende der Rohrleitung, je nachdem man den Depeschenbehälter heranholen oder fortsenden

will, mit dem einen oder anderen Reservoir in Verbindung setzt. Eine solche Einrichtung würde aber, selbst abgesehen von den bedeutenden Dimensionen, welche die Reservoire haben müssten, nur eine geringe Leistungsfähigkeit haben und wäre nicht entwickelungsfähig. Das Bedürfniss wird sich nämlich bald herausstellen, dieselbe Rohrleitung zur pneumatischen Communication mit mehreren Stationen zu benutzen, die ursprünglich angelegte Rohrleitung also zu verlängern und die bisherige Endstation für weiter gehende Depechen zur Durchgangsstation zu machen. Es empfiehlt sich daher, die Einrichtung gleich so zu machen, dass dieser wenn auch ferner liegende Zweck sich erreichen lässt. Es wird daher vortheilhaft sein, gleich zwei Röhren zu legen, von denen die eine stets zum Geben, die andere zum Empfangen der Depeschen benutzt wird. Sollen dann später noch andere Stationen eingeführt werden, so wird bei der ausserdem zu erwartenden beträchtlichen Steigerung des Depeschenverkehrs ein schnelles Aufeinanderfolgen der Sendungen nothwendig werden. Um dies ermöglichen zu können, muss die Einrichtung so getroffen werden, dass die von der Centralstation ausgehende und zu ihr zurückkehrende Röhrenleitung als eine von der Centralstation ausgehende und zu ihr zurückkehrende Kreisleitung formirt wird. Durch diese Luftleitung muss mittelst der Pumpe der Centralstation ein permanenter Luftstrom getrieben werden, der den irgendwo in die Röhre eingeführten Depeschenwagen ergreift und event. durch die übrigen Stationen hindurch zur Centralstation führt, wenn nicht eine andere Station, durch den telegraphischen Signalapparat dazu aufgefordert, dieselben vorher in Empfang nimmt. Wie das auszuführen ist, soll später auseinandergesetzt werden.

Wenn es sich aber auch schon aus diesem Grunde empfiehlt, Kreisleitungen in Anwendung zu bringen, welche von einem permanenten Luftstrom durchlaufen werden, so sprechen dafür doch auch noch andere gewichtige Gründe. Wie sich aus der Formel IV ergiebt, hängt die mittlere Geschwindigkeit der Luftbewegung von dem Factor $\frac{h^2 - h_{\prime}^2}{h^2}$ ab, bleibt also unverändert, wenn h und $h_{\prime}$ und also auch ihre Differenz proportional vermindert werden. Die durch die Pumpe auszuführende Arbeit ist aber direct proportional der Dichtigkeit der zu comprimirenden Luft, nimmt also mit $h_{\prime}$ gleichmässig ab. Ist mithin die Kreisleitung luftdicht hergestellt und die Einrichtung der Art getroffen, dass man die mittlere Dichtigkeit im Rohre beliebig vermindern kann, so erspart man im gleichen Verhältniss an Arbeitskraft.

Anhang.

Die von uns zur Prüfung resp. Berichtigung der bereits aufgestellten Formeln angestellten Versuche sind in folgenden Tabellen zusammengetragen:

Tabelle I.

Abhängigkeit der Geschwindigkeit von dem Drucke.

1) Einerseits Ueberdruck, andererseits atmosphärischer Druck.

$h - h_{\prime}$ in Centim.	$\frac{h - h_{\prime}}{h}$	Q in Kubikfuss	Geschwindigkeit	
			beobachtet	berechnet
1.	2.	3.	4.	5.
16	0,174	0,47	22,6	22,0
18	0,192	0,51	24,6	24,3
20	0,208	0,55	26,6	26,2
22	0,225	0,59	28,6	28,4
24	0,240	0,64	30,5	30,2
26	0,255	0,67	32,2	32,1
28	0,270	0,71	34,0	34,0

Bei obigen Beobachtungen wurden die Apparate so gestellt, dass aus einem Reservoir in unmittelbarer Verbindung mit der Luftpumpe Luft, deren Spannung mittelst eines Quecksilbermanometers gemessen wurde, durch die Röhrenleitung und endlich durch den Gasmesser in die Atmosphäre floss. Unterdessen wurde von Zeit zu Zeit der Barometerstand beobachtet; derselbe ergab sich als constant (0,76 m). Das zum Versuche dienende Bleirohr hatte eine Länge von 348′ preuss. und einen Durchmesser von $^1/_4''$ preuss. Die Col. 1 giebt die Differenzen der Drucke an den beiden Enden des Rohres an, die Col. 2 das Verhältniss dieser Differenzen zum grösseren Druck, die Col. 3 die in einer Minute durchfliessende Quantität Luft, die Col. 4 die entsprechenden beobachteten und Col. 5 die berechneten Geschwindigkeiten in Fussen pro Secunde.

Die letzteren sind unter der Voraussetzung berechnet, dass die Geschwindigkeiten im geraden Verhältniss der Druckdifferenzen und im umgekehrten Verhältniss des grösseren Drucks stehen. Diese Annahme ist, wenn auch nicht ganz richtig, so doch innerhalb unserer Bedürfnisse ohne bedeutenden Fehler zulässig. Dieses einfache Verhältniss ist daher anwendbar, weil die theoretischen Werthe mit einem veränderlichen (und zwar mit dem Wachsen des Druckes abnehmenden) Erfahrungs-Coëfficienten zu multipliciren sind, um die beobachteten Werthe zu erhalten.

Tabelle II.

Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Drucke.

2) Einerseits Ueberdruck, andererseits Unterdruck.

No.	Druck in Centim.	Quantität der durchströmenden Luft		
		in der Mitte	am Ende	berechnet
1.	2.	3.	4.	5.
I.	±7	0,186	0,205	0,201
II.	±10	0,240	0,277	0,270
III.	±12	0,267	0,317	0,311
IV.	±16	0,313	0,396	0,396

Zu diesen Versuchen mag noch bemerkt werden:

Der Gasmesser befand sich in der Mitte des Bleirohres, und es wurde der Druck in der Mitte und im verdünnten Raume gemessen. Durch längeres Pumpen waren wir im Stande, in der Mitte des Rohrs den athmosphärischen Druck constant zu erhalten. Für diesen Fall wurden alsdann die Messungen gemacht und da das Gesetz, dass der Druck in einem Rohre proportional der Länge abnimmt, als richtig angenommen wurde, so schlossen wir bei beobachtetem atmospärischen Druck in der Mitte des Rohres auf einen Ueberdruck im verdichteten Raume gleich dem gemessenen Unterdruck im verdünnten Raume. Die Col 3 giebt die in der Mitte des Rohres gemessenen Quantitäten bei atmosphärischem Druck, die Col. 4 die daraus mit Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes berechneten Ausflussquantitäten (in den verdünnten Raum). Die Col. 5 enthält die berechneten Ausflussquantitäten, indem jede Nummer aus nächstfolgenden berechnet ist.

Tabelle III.

Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Länge des Rohres.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
No.	h — h, in Zoll	Durchmesser in Zoll	Länge in Fuss	Q. in Kubikfuss	Geschwindigkeit	
					beobachtet	berechnet
1	6	0,25	112	0,7	34,3	34,3
2	—	—	84	0,8	39,2	39,6
3	—	—	56	1,0	49,0	48,7
4	—	—	28	1,4	68,6	68,6

Tabelle IV.

Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Durchmesser des Rohres.

No.	h — h,	Länge	Durchmesser	Q.	Geschwindigkeit beobachtet	Geschwindigkeit berechnet
1	12	100′	6,75	0,860	42,1	42,1
2	—	—	5,20	0,450	36,4	36,9
3	—	—	3,25	0,185	27,0	26,0
4	10	—	6,75	0,810	39,6	39,6
5	—	—	5,20	0,401	32,2	34,6
6	—	—	3,25	0,161	23,4	24,4

Bemerkungen zu Tabelle III und IV.

Die Längen der Röhren und deren Durchmesser wurden direct gemessen. In Tabelle III giebt die Col. II die Differenz $h - h_{,}$ in Quecksilberzoll an, während $h - h_{,}$ in der Tabelle IV in Quecksilbercentimeter aufgeführt ist. Die in der Tabelle III, Col. VII enthaltenen Zahlen sind sämmtlich aus der ersten Geschwindigkeit (34,4) berechnet, unter der Annahme, dass die Geschwindigkeiten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Länge verhalten. Die in Col. VII der Tabelle IV enthaltenen Zahlen sind Nr. 2 und 3 nach Nr. 1 und Nr. 5 und 6 nach Nr. 4 berechnet und ergeben das Gesetz, dass die Geschwindigkeit im geraden Verhältniss der Quadratwurzeln der Durchmesser des Rohres stehen.

Resultate.

Es ergiebt sich hieraus für die Ausflussgeschwindigkeit der Luft aus einer cylindrischen Röhrenleitung der Werth:

$$1)\quad v_{,} = a \cdot \frac{h - h_{,}}{h} \sqrt{\frac{d}{l}}$$

in welcher Formel l die Länge des Rohres, d der Durchmesser desselben, h der grössere und $h_{,}$ der kleinere Druck, endlich a eine Constante bedeutet. Berechnet man nach dieser Formel mit Hülfe der in den obigen Tabellen enthaltenen Data den Werth der Constanten, so erhält man für dieselbe:

$$2)\quad a = 15\,950.$$

Unter Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes kann man von der Ausflussgeschwindigkeit auf die Eintrittsgeschwindigkeit schliessen. Das Mittel aus diesen beiden ergiebt alsdann die für uns massgebende mittlere Geschwindigkeit der Luft in einer Röhrenleitung. Man findet diese mittlere Geschwindigkeit:

$$3)\quad v_{,} = a \cdot \frac{h^2 - h_{,}^2}{2h^2} \sqrt{\frac{d}{l}}.$$

Nach Formel 2 sind die mittleren Geschwindigkeiten der Luft in Röhren von 13 000 Fuss Länge (die doppelte Entfernung zwischen der Central- und der vorgeschlagenen Endstation der projectirten Linie) von verschiedenem Durchmesser und mit Anwendung von

a) 1 Atmosphäre Ueberdruck,

b) 1 Atmosphäre Unterdruck,

c) $^1/_2$ Atmosphäre Ueber- und $^1/_2$ Atmosphäre Unterdruck

folgende:

Durchmesser von Zoll	Mittlere Geschwindigkeit		
	1 Atm. Ueberdruck	1 Atm. Unterdruck	$^1/_2$ Atm. Ueberdruck $^1/_2$ Atm. Unterdruck
$2^1/_2$	23,9	32,0	28,4
3	26,2	35,0	31,1
$3^1/_2$	28,3	37,8	33,6
4	30,3	40,4	35,9

Methode
für
fortlaufende Beobachtungen der Meerestemperatur bei Tiefenmessungen.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. W. Juni. — Poggendorff's Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 129, S. 647.)

1866.

Herr Ehrenberg legte die folgende Mittheilung vor, welche er auf seine Anfrage von Hrn. Dr. W. Siemens hierselbst über eine von diesem in Gemeinschaft mit seinem Bruder Wilhelm in London vorgeschlagene Methode für fortlaufende Beobachtungen der Meerestemperatur bei Tiefenmessungen erhalten hat.

Die Methode beruht auf der Thatsache, dass der Widerstand der Metalle von ihrer Temperatur abhängig ist. Durch Messung des Widerstandes einer isolirten Drahtrolle, deren Widerstand bei einer bestimmten Temperatur bekannt ist, kann man mithin auf die Temperatur des die Rolle umgebenden Meerwassers schliessen. Es ändert sich z. B. der Widerstand des Kupfers für 1 Grad der hunderttheiligen Scala um 0,394 pCt.

Diese Methode leidet aber an dem Uebelstande, dass man die Enden der Widerstandsrolle durch sehr gut leitende, also dicke Drähte mit dem Schiffe verbinden muss, damit der durch die veränderte Temperatur ebenfalls geänderte Widerstand der Zuleitungsdrähte keinen merklichen Fehler hervorbringt. Auch erfordern genaue Widerstandsbestimmungen sehr gute Apparate und experimentelle Gewandtheit. Wir haben daher in neuerer Zeit die Methode insofern abgeändert, dass die Widerstandsmessungen ganz fortfallen und die Temperatur der Meerestiefe am Bord des Schiffes durch ein gewöhnliches Quecksilberthermometer abgelesen wird. Es wird dies dadurch ermöglicht, dass die am Ende des zweidrähtigen Kabels, welches als Lothschnur dient, eingeschaltete Widerstandsrolle mit drei anderen, am Bord des Schiffes

befindlichen, genau gleichen Widerstandsrollen und einem Galvanometer mit astatischer Nadel zu einer sogenannten Wheatstone'schen Brücke combinirt wird, wie dies aus der nebenstehenden Figur zu ersehen ist. Die eine der auf dem Schiff befindlichen Widerstandsrollen liegt in einem Wasser- oder Oelbade, welches beliebig abgekühlt oder erwärmt werden kann. Ist die Temperatur dieses Bades, mithin auch die der in ihm befindlichen Drahtrolle, verschieden von der Temperatur des Wassers, welches die ins Meer versenkte Drahtrolle umgiebt, so durchläuft ein Strom das Galvanometer, und die Nadel desselben wird abgelenkt. Findet keine Ablenkung statt, so sind die Temperaturen des Meerwassers und des Bades genau gleich. Die Ablesung des in letzterem befindlichen Thermometers giebt mithin die Temperatur der Meerestiefe. Da der eine Zuleitungsdraht dem Zweige der versenkten Rolle, der andere dem der im Bade befindlichen Rolle angehört, und beide gleichmässig durch das umgebende Meerwasser erwärmt oder abgekühlt werden, so ist ihr störender Einfluss vollständig eliminirt. Es können mithin sehr dünne Zuleitungsdrähte benutzt werden, was von bedeutender praktischer Wichtigkeit ist.

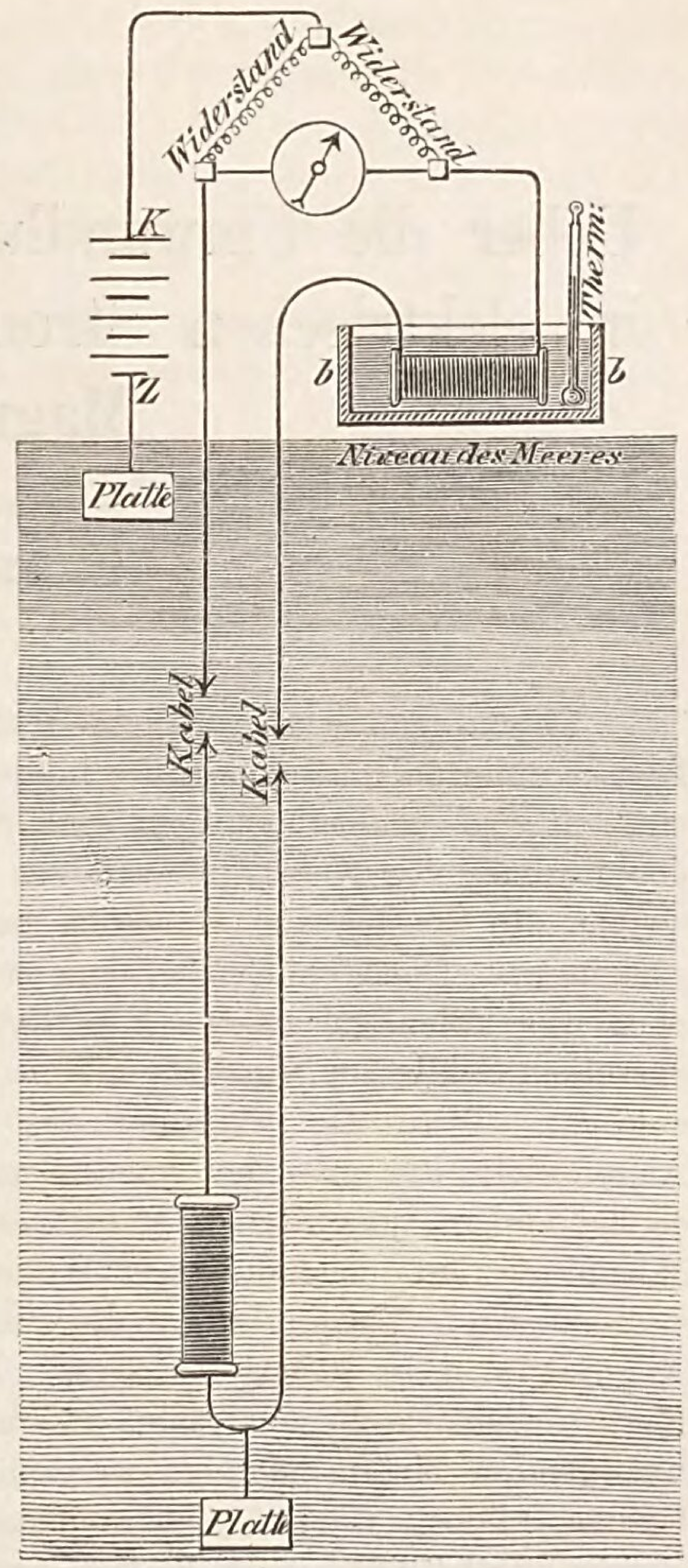


Fig. 27.

Das beim Aufstossen auf den Meeresgrund ablösbare Gewicht und die Einrichtung zum Heraufholen von Grundproben bleiben unverändert. Die Ersetzung der bisher gebräuchlichen Hanfschnur durch ein dünnes, zweidrähtiges, mit Hanf umsponnenes Kabel vertheuert allerdings den Apparat ansehnlich und macht ausserdem die Anwendung einer besonderen Vorrichtung zum Aufwinden und Abrollen des Kabels nothwendig; dagegen wird aber die grosse Festigkeit eines solchen Kabels auch den häufigen Verlust der gebräuchlichen Hanfschnur verhüten.

Ueber die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne permanente Magnete.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. W. v. 17. Januar.)

1867.

Wenn man zwei parallele Drähte, welche Theile des Schliessungskreises einer galvanischen Kette bilden, einander nähert oder von einander entfernt, so beobachtet man eine Schwächung oder eine Verstärkung des Stromes der Kette, je nachdem die Bewegung im Sinne der Kräfte, welche die Ströme auf einander ausüben, oder im entgegengesetzten stattfindet. Dieselbe Erscheinung tritt in verstärktem Masse ein, wenn man die Polenden zweier Elektromagnete, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden, einander nähert oder von einander entfernt. Wird die Richtung des Stromes in dem einen Drahte im Augenblicke der grössten Annäherung und Entfernung umgekehrt, wie es bei elektrodynamischen Rotationsapparaten und elektromagnetischen Maschinen auf mechanischem Wege ausgeführt wird, so tritt mithin eine dauernde Verminderung der Stromstärke der Kette ein, sobald der Apparat sich in Bewegung setzt. Diese Schwächung des Stromes der Kette durch die Gegenströme, welche durch die Bewegung im Sinne der bewegenden Kräfte erzeugt werden, ist so bedeutend, dass sie den Grund bildet, warum elektromagnetische Kraft-Maschinen nicht mit Erfolg durch galvanische Ketten betrieben werden können. Wird eine solche Maschine durch eine äussere Arbeitskraft im entgegengesetzten Sinne gedreht, so muss der Strom der Kette dagegen durch die jetzt ihm gleich gerichteten inducirten Ströme verstärkt werden. Da diese Verstärkung des Stromes auch eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagnetes mithin auch eine Verstärkung des folgenden inducirten Stromes hervorbringt, so wächst der Strom der Kette in rascher Progression bis zu einer solchen Höhe, dass man sie selbst ganz ausschalten

kann, ohne eine Verminderung derselben wahrzunehmen. Unterbricht man die Drehung, so verschwindet natürlich auch der Strom, und der feststehende Elektromagnet verliert seinen Magnetismus. Der geringe Grad von Magnetismus, welcher auch im weichsten Eisen stets zurückbleibt, genügt aber, um bei wieder eintretender Drehung das progressive Anwachsen des Stromes im Schliessungskreise von Neuem einzuleiten. Es bedarf daher nur eines einmaligen kurzen Stromes einer Kette durch die Windungen des festen Elektromagnetes, um den Apparat für alle Zeit leistungsfähig zu machen. Die Richtung des Stromes, welchen der Apparat erzeugt, ist von der Polarität des rückbleibenden Magnetismus abhängig. Aendert man dieselbe vermittelst eines kurzen entgegengesetzten Stromes durch die Windung des festen Magnetes, so genügt dies, um auch allen später durch Rotation erzeugten mächtigen Strömen die umgekehrte Richtung zu geben.

Die beschriebene Wirkung muss zwar bei jeder elektromagnetischen Maschine eintreten, die auf Anziehung und Abstossung von Elektromagneten begründet ist, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden; es bedarf aber doch besonderer Rücksichten zur Herstellung von solchen elektrodynamischen Inductoren von grosser Wirkung. Der von den commutirten, gleichgerichteten Strömen umkreiste, feststehende Magnet muss eine hinreichende magnetische Trägheit haben, um auch während der Stromwechsel den in ihm erzeugten höchsten Grad des Magnetismus ungeschwächt beizubehalten, und die sich gegenüberstehenden Polflächen der beiden Magnete müssen so beschaffen sein, dass der feststehende Magnet stets durch benachbartes Eisen geschlossen bleibt, während der bewegliche sich dreht. Diese Bedingungen werden am besten durch die von mir vor längerer Zeit in Vorschlag gebrachte und seitdem von mir und Anderen vielfältig benutzte Anordnung der Magnetinductoren erfüllt. Der rotirende Elektromagnet besteht bei derselben aus einem um seine Axe rotirenden Eisencylinder, welcher mit zwei gegenüberstehenden, der Axe parallel laufenden Einschnitten versehen ist, die den isolirten Umwindungsdraht aufnehmen. Die Polenden einer grösseren Zahl von Stahlmagneten oder im vorliegenden Fall die Polenden des feststehenden Elektromagnetes, umfassen die Peripherie dieses Eisencylinders in seiner ganzen Länge mit möglichst geringem Zwischenraume.

Mit Hülfe einer derartig eingerichteten Maschine kann man, wenn die Verhältnisse der einzelnen Theile richtig bestimmt sind und der Commutator richtig eingestellt ist, bei hinlänglich schneller Drehung in geschlossenen Leitungskreisen von geringem ausserwesentlichen Widerstande Ströme von solcher Stärke erzeugen, dass die Umwindungsdrähte der Elektromagnete durch sie in kurzer Zeit bis zu einer Temperatur erwärmt werden, bei welcher die Umspinnung der Drähte verkohlt. Bei anhaltender Benutzung der Maschine muss diese Gefahr durch Ein-

schaltung von Widerständen oder durch Mässigung der Drehungsgeschwindigkeit vermieden werden. Während die Leistung der magnetoelektrischen Inductoren nicht in gleichem Verhältnisse mit der Vergrösserung ihrer Dimensionen zunimmt, findet bei der beschriebenen das umgekehrte Verhältniss statt. Es hat dies darin seinen Grund, dass die Kraft der Stahlmagnete in weit geringerem Verhältniss zunimmt, als die Masse des zu ihrer Herstellung verwendeten Stahls, und dass sich die magnetische Kraft einer grossen Anzahl kleiner Stahlmagnete nicht auf eine kleine Polfläche concentriren lässt, ohne die Wirkung sämmtlicher Magnete bedeutend zu schwächen oder sie selbst zum Theil ganz zu entmagnetisiren. Magnetinductoren mit Stahlmagneten sind daher nicht geeignet, wo es sich um Erzeugung sehr starker andauernder Ströme handelt. Man hat es zwar schon mehrfach versucht, solche kräftige magnetelektrische Inductoren herzustellen und auch so kräftige Ströme mit ihnen erzeugt, dass sie ein intensives elektrisches Licht gaben, doch mussten diese Maschinen colossale Dimensionen erhalten, wodurch sie sehr kostbar wurden. Die Stahlmagnete verloren ferner bald den grössten Theil ihres Magnetismus und die Maschine ihre anfängliche Kraft.

Neuerdings hat der Mechaniker Wilde in Birmingham die Leistungsfähigkeit der magnetelektrischen Maschinen dadurch wesentlich erhöht, dass er zwei Magnetinductoren meiner oben beschriebenen Construction zu einer Maschine combinirte. Den einen, grösseren dieser Inductoren versieht er mit einem Elektromagnet an Stelle der Stahlmagnete und verwendet den anderen zur dauernden Magnetisirung dieses Elektromagnetes. Da der Elektromagnet kräftiger wird, als die Stahlmagnete, welche er ersetzt, so muss auch der erzeugte Strom durch diese Combination in mindestens gleichem Masse verstärkt werden.

Es lässt sich leicht erkennen, dass Wilde durch diese Combination die geschilderten Mängel der Stahlmagnet-Inductoren wesentlich vermindert hat. Abgesehen von der Unbequemlichkeit der gleichzeitigen Verwendung zweier Inductoren zur Erzeugung eines Stromes, bleibt sein Apparat doch immer abhängig von der unzuverlässigen Leistung der Stahlmagnete.

Der Technik sind gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist. Diese Thatsache wird auf mehreren Gebieten derselben von wesentlicher Bedeutung werden.

Directe Messung des Widerstandes galvanischer Ketten.

(Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. Jubelband, S. 445.)

1874.

Die Ohm'sche Methode der wiederholten Strommessung bei Einschaltung bekannter Widerstände giebt bekanntlich die nöthigen Data zur Berechnung resp. Vergleichung der 3 Constanten der galvanischen Kette. Da Strommessungen aber die Benutzung sehr exacter Messinstrumente bedingen und die Methode überhaupt sehr umständlich und zeitraubend ist, wenn sie einigermassen befriedigende Resultate gewähren soll, so war das Bestreben, die einzelnen Constanten der Kette durch directe Messungen zu bestimmen, ein berechtigtes. In sehr vollkommenem Grade ist dies für die Widerstandsmessungen derjenigen Theile der Kette, in welchen keine elektromotorische Kraft thätig ist, mit Hülfe des unter dem Namen der Wheatstone'schen Brücke bekannten Stromverzweigungsschemas gelungen. Auch die Vergleichung der elektromotorischen Kraft zweier Ketten ist durch Herrn Poggendorff vermittelst seiner Compensations-Methode zu einem hohen Grade der Vollkommenheit gebracht, wenn dieselbe auch noch den grossen Mangel hat, dass die elektromotorischen Kräfte nicht unter gleichen Bedingungen, sondern so verglichen werden, dass die eine Kette durch einen bestimmten Widerstand geschlossen, also in Thätigkeit, die andere dagegen stromlos ist. In neuerer Zeit haben die Herren Paalzow, Beetz und Andere Methoden angegeben, um mit Hülfe des von Dubois vervollkommneten Poggendorff'schen Compensations-Verfahrens auch den wesentlichen Widerstand der thätigen Kette zu bestimmen. Wenn auch nicht in Abrede zu stellen ist, dass hierdurch die Aufgabe, ohne Strommessungen den Widerstand galvanischer Ketten zu bestimmen, im Princip gelöst ist, so leiden diese indirecten Methoden doch an sehr wesentlichen Mängeln. Der gesuchte Widerstand

14*

der Kette erscheint bei diesen Methoden als Resultat einer Rechnung, in welcher ausser den eingeschalteten bekannten Widerständen auch der Widerstand der Vergleichskette und das Verhältniss der elektromotorischen Kräfte beider Ketten auftritt. Da nun bekanntlich — wie auch die später beschriebenen Versuche bestätigen — weder die elektromotorische Kraft noch der Widerstand eines galvanischen Elements wirklich constant sind, sondern beide sich mit der relativen Stromstärke, also dem Thätigkeitsmasse der Flächeneinheit des Elementes ändern, so muss nothwendig das Hereinziehen der elektromotorischen Kräfte der Ketten in die Rechnung das gefundene Resultat wesentlich beeinträchtigen. Doch auch abgesehen von diesem theoretischen Mangel sind die durch das Compensationsprincip begründeten Methoden namentlich für technische Benutzung zu umständlich und schwerfällig.

Meine Methode [1]) der directen Bestimmung des wesentlichen Widerstandes der Kette beruht wie die Wheatstone'sche Widerstandsmessungsmethode auf einem Stromverzweigungsgesetze.

Ist *A*, *B*, *C*, *D* (Fig. 28) in beifolgendem Stromschema der Schliessungsbogen der Kette *E*, deren wesentlicher Widerstand zu bestimmen ist, bezeichnet ferner der Punkt *C* den Halbirungspunkt des

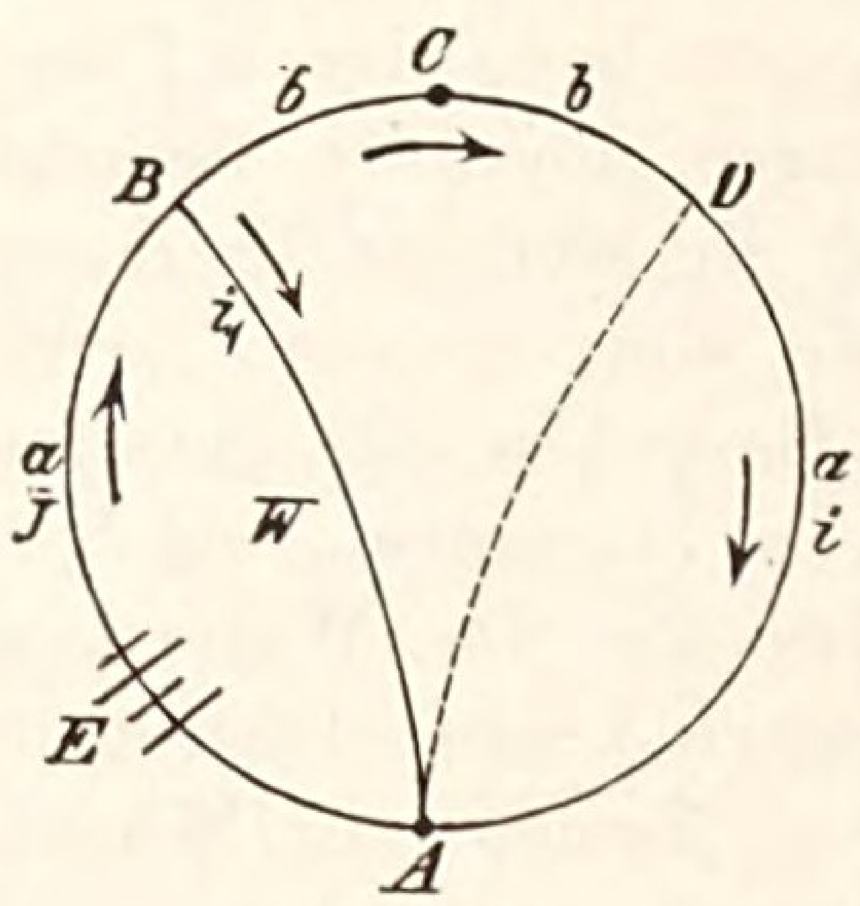


Fig. 28.

Widerstandes des gesammten Schliessungskreises, so dass $ABC = ADC = a$ ist; ist ferner $BC = CD = b$; ist dann ein Zweigdraht vom Widerstande w mit A verbunden, welcher beliebig durch einen Commutator mit dem Punkte B oder D in leitende Verbindung gebracht werden kann, so ist nach Kirchhoff's Rechnungsmethode:

$$\text{I} \quad (a - b)\, J + (a + b)\, i = E,$$

$$\text{II} \quad w \,.\, i_1 - (a + b)\, i = 0.$$

$$\text{III} \quad i_1 + i = J;$$

und wenn man aus diesen drei Gleichungen J und i_1 eliminirt

$$i = \frac{E \,.\, w}{a^2 + 2\,a\,w - b^2}.$$

[1]) Ich habe diese Methode bereits der Society of Telegraph Engineers in London in ihrer Sitzung vom 11. Dec. 1872 mitgetheilt.

In diesem Ausdrucke für die Stromstärke i in dem Theile des Hauptkreises, welcher keine elektromotorische Kraft enthält, kommt der Abstand b der Nebenschliessung vom Halbirungspunkte des Widerstandes nur im Quadrat vor; i bleibt daher unverändert, wenn $-b$ anstatt b gesetzt wird, oder wenn die Nebenschliessung an den Punkt D anstatt an B gelegt wird. Es ist leicht, sich eine Einrichtung zu machen, um mit Hülfe dieses Stromverzweigungsgesetzes den wesentlichen Widerstand einer Kette zu messen. Ist $BCD = 2b$ ein beliebiger Widerstand, dessen Grösse am besten zwischen dem einfachen und doppelten Widerstande der Kette liegt; ist ferner $AD = a - b$ der Umwindungsdraht eines Galvanometers und w eine Widerstandsrolle, deren eines Ende mit dem einen Pole der Kette und dem einen Ende des Galvanometerdrahtes leitend verbunden ist, während das andere Ende in schnellem Wechsel an den Punkt B oder D anzulegen ist, so braucht man zwischen dem freien Pole der Kette und dem Punkte B nur so lange vermittelst eines Rheostaten Widerstand ein- oder auszuschalten, bis die Nadel des Galvanometers unverändert bleibt, mag die Nebenschliessung an dem Punkte B oder D des Kreises anliegen. Es ist dann der wesentliche Widerstand der Kette gleich dem des Galvanometers, weniger dem zur Erzielung des Gleichgewichtes eingeschalteten Widerstande. — Ich schliesse hieran eine Versuchsreihe, welche Dr. Frölich in meinem Laboratorium mit dieser Methode ausgeführt hat, und durch welche ihre Sicherheit und praktische Brauchbarkeit constatirt wird.

Nach der Methode von Dr. W. Siemens zur Messung von Batteriewiderständen wurden zahlreiche Bestimmungen an den verschiedenen Formen des Daniell'schen Elementes ausgeführt; es ergab sich, dass, um constante und vergleichbare Resultate zu erhalten, folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

1. dass der Strom überhaupt während der Messung völlig constant bleibt,
2. dass die Stromverhältnisse im Batteriezweig innerhalb gewisser Grenzen gleich gehalten werden.

Die Erfüllung der ersten Bedingung ist selbstverständlich und wird leicht dadurch erreicht, dass die Elemente sorgfältig angesetzt und einige Zeit vor der Messung so geschlossen werden, dass die Stromstärke einen ähnlichen Werth annimmt, wie später in der Messung selbst.

Die Nothwendigkeit der zweiten Bedingung war ebenfalls zu erwarten, da der Uebergangswiderstand, auf den es hier wesentlich ankommt, eine Function der Stromstärke ist. Will man daher verschiedene constante Elemente in Bezug auf ihren Widerstand vergleichen, sei es die einzelnen unter sich oder mehrere mit einzelnen,

so hat man, um richtige Resultate zu erhalten, die Widerstände im Schliessungskreise so einzurichten, dass die beiden Stromstärken im Batteriezweig, welche den beiden Stellungen des Zweiges C (in nachstehender Figur 30) entsprechen, in den einzelnen Messungen je dieselben Werthe erhalten.

Da die stricte Erfüllung dieser Bedingung lästig ist, so handelte es sich darum, experimentell festzustellen, wieviel die bezeichneten Stromstärken von einander abweichen dürfen, ohne das Resultat der Messung zu beeinträchtigen; ferner sollte die Zuverlässigkeit der Methode geprüft werden.

Die sicherste Probe für diese letztere besteht wohl darin, mehrere Elemente einzeln in Bezug auf ihren Widerstand zu messen, dann in verschiedenen Gruppen hinter einander zu schalten und wieder den Widerstand zu messen; die Widerstände jener Gruppen müssen dann übereinstimmen mit den Summen der Widerstände der betreffenden einzelnen Elemente.

Diese Probe wurde an fünf kleinen Daniell'schen Elementen ausgeführt, ihre Widerstände wurden zuerst einzeln, dann in Gruppen von je 2, je 3, je 4 und 5 bestimmt und dabei die beiden Stromstärken im Batteriezweig A in den verschiedenen Messungen ungefähr gleich gemacht. Es ergab sich beinahe vollkommene Uebereinstimmung der Resultate; die Abweichungen sind ungefähr von derselben Ordnung wie die Beobachtungsfehler; und es zeigte sich ferner, dass für das Gleichhalten der Stromstärken im Batteriezweig ein ziemlich weiter Spielraum gestattet ist.

In Bezug auf die Empfindlichkeit der Methode kann man im Allgemeinen die Regel aufstellen, dass das Maximum erreicht wird, wenn im Batteriezweig A kein Widerstand ausser demjenigen des Elementes sich befindet und in den Zweigen B und C die Widerstände ungefähr ähnliche Werthe besitzen, wie im Batteriezweig.

Die Stromstärke im Batteriezweig wurde an einer Tangentenbussole gemessen, diejenige im Zweige G an einem feinen Spiegelgalvanometer; dieses letztere befand sich jedoch in einem dem Zweige G angefügten Zweige N (s. Fig. 29 S. 215), in welchem der Widerstand stets so gross in Bezug auf denjenigen in G gehalten wurde, dass für die Berechnung des Widerstandes der Elemente der Nebenschluss N ganz ausser Betracht fiel.

Als Stromwender diente eine Poggendorff'sche Wippe.

Die Empfindlichkeit der Messung, d. h. des Unterschieds der beiden Ströme, wenn in G 0,1 S. E. mehr oder weniger eingeschaltet wurde, betrug bei der Messung der einzelnen Elemente: 2,0 mm Ausschlag am Spiegelgalvanometer, bei derjenigen der fünf Elemente hintereinander: 0,5 mm.

Nachstehende Tabelle enthält die Messungen der Widerstände der verschiedenen Gruppen von Elementen. Die Ausschläge am Spiegelgalvanometer sind beigefügt, um zu zeigen, dass auch im Galvanometerzweig die Stromstärke ungefähr denselben Werth beibehielt; es ist dies zwar unwesentlich, hierdurch wurde jedoch der Fehler, welcher von Schwankungen der Nullstellung der Magnetnadel herrührt, bei allen Messungen gleich gemacht.

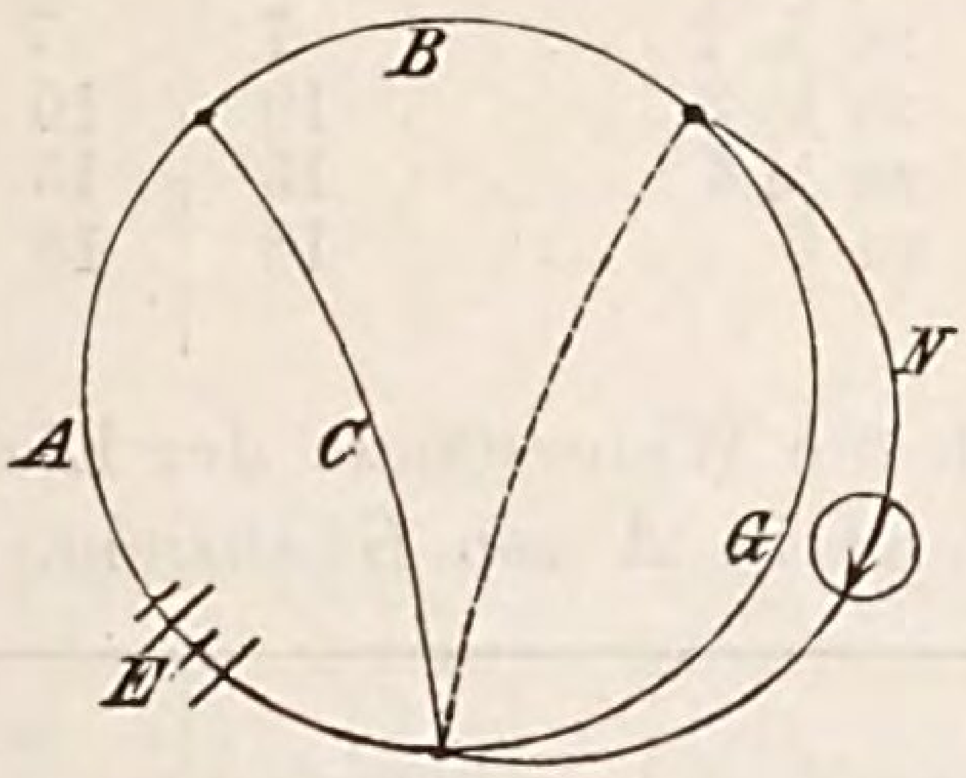


Fig. 29.

Elemente	G	Ausschlag am Spiegel-galv.	Stromstärken im Batteriezweig	
			Stellung 1	Stellung 2
	E			
I	2,00	290 mm	0,312	0,198
II	2,60	300	0,270	0,176
III	1,75	285	0,333	0,194
IV	1,60	274	0,340	0,209
V	1,40	265	0,378	0,215
I + II	4,20	294	0,291	0,176
II + III	4,00	290,5	0,291	0,185
III + IV	3,00	267	0,361	0,194
IV + V	2,60	252	0,366	0,209
I + II + III	5,55	289	0,306	0,198
II + III + IV	5,20	285	0,325	0,190
III + IV + V	4,00	263	0,376	0,224
I + II + III + IV	6,80	276	0,310	0,190
II + III + IV + V	6,20	268	0,329	0,190
I + II + III + IV + V	7,80	273	0,327	0,224

Bei allen Messungen betrug der Drahtwiderstand in A: $0{,}40^{E}$ (Zuleitung zu den Elementen), die Widerstände in den Zweigen B, C, N waren wie folgt:

	B	C	N
Elemente einzeln	3^E	3^E	1500^E
- zu je 2	7	7	3000
- zu je 3	10	10	4500
- zu je 4	15	15	6000
- zu 5	18	18	7500

Hieraus berechnen sich die Widerstände der Elemente, indem man einfach den Drahtwiderstand in *A* von *G* abzieht. Man erhält:

Elemente	Widerstand	W. berechnet	Fehler
I	$1,60^E$		
II	2,20		
III	1,35		
IV	1,20		
V	1,00		
I + II	3,80	$3,80^E$	$0,00^E$
II + III	3,60	3,55	−0,05
III + IV	2,60	2,55	−0,05
IV + V	2,20	2,20	0,00
I + II + III	5,15	5,15	0,00
II + III + IV	4,80	4,75	−0,05
III + IV + V	3,60	3,55	−0,05
I + II + III + IV	6,40	6,35	−0,05
II + III + IV + V	5,80	5,75	−0,05
I + II + III + IV + V	7,40	7,35	−0,05

Die Gruppen zu je 2, zu je 3 etc. sind mittels der für die einzelnen Elemente enthaltenen Werthe berechnet; das Resultat ergiebt einfach, dass der Widerstand des Elementes III um $0,05^E$ zu klein gemessen wurde.

Die Variationen der Stromstärke im Batteriezweig *A* sind folgende:

in Stellung 1 des Zweiges C: von 0,270 bis 0,378
„ „ 2 „ „ „ 0,176 bis 0,224.

Im Allgemeinen geht aus diesen Messungen hervor, dass die vorliegende Methode bei richtiger Handhabung durchaus zuverlässige Resultate liefert, dass man aber bei der Erfüllung der zweiten, oben genannten Vorschrift durchaus nicht ängstlich zu verfahren braucht, dass also die Methode ausserdem noch den Vortheil bequemer und rascher Ausführung bietet.

Antrittsrede des Herrn Siemens und Antwort des Herrn du Bois-Reymond, Secretars der physik.-mathem. Klasse.

(Gelesen in der öffentlichen Sitzung der Königl. Akademie der Wissensch. zu Berlin am 2. Juli.)

1874.

Durch meine Aufnahme unter die Zahl ihrer Mitglieder hat die Akademie mir eine Ehre erwiesen, welche ich nicht erstrebt habe und die ich auch nicht zu erwarten berechtigt war. Zu diesen, durch die hohen wissenschaftlichen Leistungen früherer wie gegenwärtiger Inhaber ehrwürdigen Sitzen wurden bisher nur Gelehrte berufen, welchen die Wissenschaft Lebensberuf war, und welche derselben ihre ganzen geistigen Kräfte erfolgreich gewidmet hatten. Es sprachen auch gewichtige Gründe für die Aufrechterhaltung dieser Sitte. Die deutsche Wissenschaft verdankt die allgemeine Huldigung, welche die Welt ihr darbringt, dem wohlbegründeten Ruf der Gediegenheit ihrer Leistungen, der Tiefe ihrer Forschungen, wesentlich dem strengen Gebote der gründlichen und planmässigen Vorbildung für den wissenschaftlichen Beruf. Diese flösst dem Jünglinge die Liebe zur Wissenschaft ein und stärkt ihn bei der Durchführung des Entschlusses, ihr fortan sein Leben zu weihen. Sie ist es, die der deutschen Wissenschaft die Reinheit des wissenschaftlichen Strebens bewahrt hat, welche ihre höchste Zierde bildet. Der deutsche Gelehrte fragt nicht, ob das Problem, dessen Lösung er unternehmen, ob die Untersuchung, der er sich hingeben will, ihm selbst oder Anderen unmittelbaren Nutzen bringen wird; es ist die reine selbstlose Liebe zur Wissenschaft, welche ihm seine Aufgaben vorzeichnet, es ist der Wissensdrang, welcher ihn anspornt, ihrer Durchführung seine ganze Geisteskraft, oft unter drückenden Lebenssorgen, bis zur Erschöpfung zu widmen. Als Lohn genügt ihm das Bewusstsein, den einzig wahrhaften Schatz der

Menschheit, ihren Wissensschatz, vermehrt zu haben, und sein Ehrgeiz ist befriedigt, wenn sein Name mit der Auffindung einer neuen Wahrheit, einer neuen wissenschaftlichen Thatsache oder Folgerung dauernd verknüpft ist.

Die Akademie ist mit meiner Wahl von dem Systeme abgewichen, welches so Grosses erwirkte. Sie hat einen Mann für würdig erklärt, in ihre Reihen einzutreten, dessen berufsmässige Thätigkeit weder der Wissenschaft selbst, noch dem ihr nahe stehenden wissenschaftlichen Lehrfache angehörte, dem es auch nicht vergönnt war, als Jünger hoher Meister unter sicherer Führung die lichte Höhe des heutigen Wissens zu erklimmen, um dann, von diesem festen Grunde der in einer langen Reihe von Jahrtausenden angesammelten geistigen Arbeit des ganzen Menschengeschlechtes aus, mit verhältnissmässig leichter Mühe am weiteren Aufbau desselben mitarbeiten zu können.

Ich bin nicht anmassend genug, um zu glauben, dass die rein wissenschaftlichen Leistungen, welche ich aufzuweisen habe, allein entscheidend hierfür gewesen sind. Ich glaube, und finde eine Beruhigung in dieser Annahme, dass schwerer wiegende Gründe für die Akademie massgebend waren. Diese erkenne ich darin, dass — Dank der besseren Schulbildung und der höheren Entwickelung des geistigen Verkehrs, welcher heute jeden neuen Gedanken, jede neue wissenschaftliche Thatsache schnell zum fortan unverlierbaren Gemeingute der Menschheit macht — die wissenschaftliche Kenntniss und Methode nicht mehr auf den engen Kreis der Berufsgelehrten beschränkt ist, sondern belebend und befruchtend auf grössere Gesellschaftskreise eingewirkt hat. Das Lehrfach, das Beamtenthum, die Industrie, die Landwirthschaft, ja fast jedes Gewerbe hat sich wesentliche Bestandtheile derselben angeeignet. Es sind dadurch der Wissenschaft Tausende von Mitarbeitern erwachsen, welche zwar grösstentheils nicht auf einer weiten Ueberblick gewährenden Wissenshöhe stehen, dafür aber ihr Specialfach gründlich kennen und bei dem Bestreben, dasselbe mit Hülfe der erworbenen wissenschaftlichen Kenntnisse weiter auszubilden, überall den Grenzen unseres heutigen Wissens begegnen. Die Kenntniss neuer Thatsachen, bisher unbekannter Erscheinungen fliesst daher von hier in lebendigem Strome zur Wissenschaft zurück. Doch nicht allein im eigenen Interesse der Wissenschaft liegt es, in engere Verbindung mit der Anwendung ihrer Forschungsresultate im praktischen Leben zu treten, weil dasselbe ihr reichlich zurückbringt, was es empfängt; es ist für sie auch ein Gebot der Pflicht. Denn dadurch erhält die Wissenschaft erst ihre höhere Weihe, das giebt ihr erst ein Anrecht auf die dankbare Liebe und Verehrung der Völker, dass sie nicht ihrer selbst wegen besteht, zur Befriedigung des Wissensdranges der beschränkten Zahl ihrer Bekenner, sondern dass ihre Aufgabe die ist, den Schatz des Wissens und Könnens des ganzen Menschen-

geschlechtes zu erhöhen und dasselbe damit einer höheren Culturstufe zuzuführen. Sie bildet gleichsam das Nervennetz, welches den Organismus menschlicher Cultur durchzieht, das auch in seinen feinsten, kaum noch bemerkbaren Verzweigungen noch neues frisches Leben in ihm erzeugt und dadurch nicht allein die idealen Güter der Menschheit vermehrt, sondern ihr auch durch Dienstbarmachung der noch unerkannt schlummernden Kräfte der Natur den schweren Kampf um das materielle Dasein erleichtert.

Diesem Endzwecke wissenschaftlichen Strebens waren auch meine Kräfte in meiner Berufsthätigkeit, der wissenschaftlichen Technik, stets zugewandt. Leider liess mir dieselbe bisher nur wenig Musse für rein wissenschaftliche Forschungen, zu denen ich mich immer besonders hingezogen fühlte. Meine Aufgaben wurden mir gewöhnlich durch meine Berufsthätigkeit vorgeschrieben, indem die Ausfüllung wissenschaftlicher Lücken, auf welche ich stiess, sich als ein technisches Bedürfniss erwies. Ich will hier nur flüchtig erwähnen meine Methode der Messung grosser Geschwindigkeiten durch den elektrischen Funken, die Auffindung der elektrostatischen Ladung telegraphischer Leitungen und ihrer Gesetze, die Aufstellung von Methoden und Formeln für die Untersuchung unterirdischer und unterseeischer Leitungen, sowie für die Bestimmung des Ortes vorhandener Isolationsfehler, meine Experimentaluntersuchung über die elektrostatische Induction und die Verzögerung des elektrischen Stromes durch dieselbe, die Aufstellung und Darstellung eines reproducirbaren Grundmasses für den elektrischen Leitungswiderstand, den Nachweis der Erwärmung des Dielectricums des Condensators durch plötzliche Entladung, die Auffindung und Begründung der dynamo-elektrischen Maschine. Ich glaube auch anführen zu können, dass manche meiner technischen Leistungen nicht ohne wissenschaftlichen Werth sind. Ich nenne von denselben den Differential-Regulator, die Herstellung isolirter Leitungen durch Umpressung mit Guttapercha, die telegraphischen Gegen-, Doppel-, Inductions- und automatischen Sprechapparate, den Ozon-Apparat und Messinstrumente verschiedener Art. Mir ward die Ehre, dies seitens der Berliner Universität durch meine Promotion zum Doctor phil. hon. c. anerkannt zu sehen. Ich kann auch nicht unterlassen, an dieser Stelle dankend hervorzuheben, dass das freundliche Wohlwollen, mit welchem viele der älteren Mitglieder dieser Akademie meine Bestrebungen stets begleiteten, sowie die Freundschaftsbande, welche mich mit manchen der jüngeren verknüpfen, wesentlich dazu mitwirkten, die Liebe zur Wissenschaft während meiner langen technischen Laufbahn in mir lebendig zu erhalten. Freilich blieb mir nur selten die Musse, neue Erscheinungen, die mir begegneten, über die Grenzen des technischen Bedürfnisses hinaus mit wissenschaftlicher Consequenz zu verfolgen, und auch künftig wird die Arbeitslast meiner Berufsthätigkeit

mich hindern, meiner wissenschaftlichen Neigung gänzlich Folge zu leisten.

Doch die Akademie hat durch meine Wahl zu ihrem Mitgliede zur Neigung die Pflicht gesellt — eine Mahnung, die im Staate Friedrich's des Grossen besonders kräftig zu wirken pflegt und auch auf mich nicht ohne Einfluss bleiben wird!

Hierauf folgte die Antrittsrede des Hrn. Virchow.

Auf die Antrittsreden der beiden neuaufgenommenen Mitglieder der physikalisch-mathematischen Klasse, der HH. Siemens und Virchow, antwortete Hr. du Bois-Reymond, als Secretar der Klasse, Folgendes:

Dein Eintritt in die Akademie, mein theurer Siemens, und der Ihre, Herr Virchow, treffen nicht bloss zeitlich zusammen, sondern noch in mehreren anderen Punkten. Beide gehören nicht zu den gewöhnlichen Ereignissen im Leben unserer Körperschaft. In der Regel füllt diese die Lücken, welche das Verhängniss in ihrem Kreise riss, mit jüngeren Kräften aus, deren reicher Entfaltung in der Zukunft sie sich versichert hält. Nicht selten auch sind es schon gereifte und allgemein anerkannte Männer, die sie sich einverleibt: doch geschieht dies meist bei deren Uebersiedelung nach Berlin. Die Namen Siemens und Virchow dagegen waren längst eine hervorragende Zierde des gelehrten Berlins. Könnte am heutigen Vorgang etwas die Aussenstehenden befremden, so wäre es, dass er erst heute vor sich ging.

Aber die Verdienste, mit denen die Welt gewohnt ist, beide Namen zu verknüpfen, sind zum Theil einer Art, der Akademien naturgemäss fremd bleiben, und indem ihr Glanz den doch darin enthaltenen akademischen Kern blendend verdeckte, trugen sie seltsamerweise eher dazu bei, den heutigen Tag zu verspäten, als ihn rascher herbeizuführen.

Die praktische Anwendung der Wissenschaft, ihre Dienstbarmachung für technische Zwecke, in welcher Du, mein theurer Siemens, so Grosses geleistet, liegt ausserhalb des Kreises unserer Beschäftigungen. Insofern diese Anwendung dem, der sich ihr mit Erfolg widmet, Reichthum, Macht und Ansehen sichert, wird sie ohne Schaden sich überlassen, und bedarf sie keiner ihr vom Staate bereiteten Stätte. Es wird ihr an Kräften und Mitteln, an ermunternder Theilnahme nie fehlen. Die Entwickelung der Industrie seit einem Jahrhundert, zu welcher die gelehrten Gesellschaften unmittelbar sehr wenig beitrugen, zeigt dies genugsam. Jedenfalls dürfte eine gute Patentgesetzgebung der Industrie mehr nützen, als unmittelbare Betheiligung der Akademien an der Lösung industrieller Aufgaben, ja ein nur zu nahe liegendes Beispiel lehrt, dass, um lebenskräftig zu gedeihen, die Industrie nicht einmal diese Hülfe braucht.

Benjamin Franklin, einer der ersten Apostel des Utilitarianismus, nannte den Menschen das werkzeugmachende Thier. Kaum ein Jahr-

hundert verfloss seitdem, und stolz fügen wir hinzu, er ist das Thier, das mit dem Dampfe reist, mit dem Blitze schreibt, mit dem Sonnenstrahle malt. Planmässige Ausbeutung der Naturschätze, methodische Bändigung der Naturkräfte sind unstreitig eines der erhabensten Ziele, welche die Menschheit sich stecken kann, und wir nähern uns heute diesem Ziele mit einer Sicherheit und Stetigkeit, die fast jede Hoffnung berechtigt und den Menschen gottähnlicher erscheinen lassen als je zuvor. Denn unter den gegebenen Bedingungen die Summe unseres Wohlbefindens, unserer Genüsse zu einem Maximum, die unserer Leiden und Entbehrungen zu einem Minimum zu machen, ist eine Aufgabe ähnlich der, welche nach Leibniz, in dessen Namen wir heute hier versammelt sind, der Gottheit selber bei Erschaffung der Welt vorschwebte.

Aber der Mensch lebt nicht von Brod allein, und man kann mit Novalis fragen: Was ist praktischer, den Menschen Brod, oder ihnen eine Idee geben? Nachdem auch der Schönheitssinn befriedigt ist, den nach Darwin der Vogel mit uns theilt, wirkt im Menschen noch ein Trieb, der, wie die Sprache, unter allen Lebendigen einzig ihm gehört. Das Wort: Warum? welches von den Lippen der Kinder ungelehrt uns entgegentönt, wie es vor Jahrtausenden von denen morgenländischer Weisen klang, ist unter den Wörtern der menschlichen Sprache das menschlichste Wort. Die Sehnsucht nach dem zureichenden Grunde erscheint gleichsam als Blüthe dessen, was die zum Hirn zusammengefügte, Bewusstsein erzeugende Materie vermag.

Die Stillung dieses Sehnens, die Befriedigung des Causalitätstriebes ist die abgelegene Höhe, wo der akademische Geist weilt, ohne einige Veranstaltung aber bald vereinsamen würde. Denn wer nur dem ewig Wahren nachspürt, braucht sich nicht umzusehen, um zu wissen, dass nur Wenige seines Weges gehen. Irdische Güter beut die Wissenschaft nicht, und der wissenschaftliche Ehrgeiz ist mehr ein Zeichen des Talentes, als dass er an sich der Forschung Jünger erweckte.

Daher ist zum Fortbau an der wissenschaftlichen Erkenntniss um ihrer selber willen die Akademie da. Dass noch kein demokratisches oder oligarchisches Gemeinwesen eine Akademie gründete, wirft ein eigenes Licht auf den Geist der verschiedenen Regierungsformen.

Der idealistisch gesinnten Renaissance entsprossen, ragen die Akademien in den heute sie umdrängenden Realismus fast als fremdartige Schöpfungen hinein. Auch ist unvermeidlich, dass ihr Standpunkt nach den Forderungen der Zeit sich etwas verrücke. Aber eine wissenschaftliche Gestalt gleich der Deinigen, mein theurer Siemens, sich anzueignen, braucht keine Akademie ihren Grundsätzen untreu zu werden.

Dein ist das Talent des mechanischen Erfindens, welches nicht mit Unrecht Urvölkern göttlich hiess, und dessen Ausbildung die Ueberlegenheit der modernen Cultur ausmacht. Ohne in der prak-

tischen Mechanik selber Hand anzulegen, hast Du als schaffender und organisirender Kopf das Höchste in der Kunst erreicht. Hellen Blicks und kühnen Sinnes ergriffst Du früh die grossen praktischen Aufgaben der Elektrotelegraphie und sichertest Deutschland darin einen Vorsprung, den nicht Gauss und Wilhelm Weber und nicht Steinheil ihm hatten verschaffen können. Lange ehe der wiedererwachte deutsche Genius auf dem Schlachtfeld und im Parlament das höhnische Vorurtheil zerstreute, wir seien ein Volk von Träumern, zwangen Deine und unseres Halske's Apparate auf jeder der grossen Weltausstellungen das missgünstige Ausland zur bewundernden Anerkennung dessen, was deutsches Wissen und deutscher Kunstfleiss zu leisten im Stande sind. Deine Werkstätten wurden für Elektricität, was einst die Fraunhofer'sche für Licht, und Du selber der James Watt des Elektromagnetismus. Nun gebietest Du einer Welt, die Du schufest. Deine Telegraphendrähte umstricken den Erdball. Deine Kabeldampfer befahren den Ocean. Unter den Zelten Bogen und Pfeil führender Nomaden, deren Weidegründe Deine Botschaften durchfliegen, wird Dein Name mit abergläubischer Scheu genannt.

Aber weniger diese Art von Erfolgen, die Dir solche Lebensstellung und weithin solchen Ruhm gewannen, öffnete Dir die Thore der Akademie. Sondern dass Du auf solcher Höhe, als ein Fürst der Technik, die Fäden unzähliger Combinationen in der Hand haltend, hundert Pläne im Kopfe wälzend, im Innersten der deutsche Gelehrte in des Wortes edelstem Sinne bliebst, als der Du geboren bist, zu dem Du nicht einmal erzogen wurdest; dass in jedem Augenblick, wo die Last der Geschäfte es Dir erlaubte, Du mit Liebe zum Phänomen, mit Treue zum Experiment, mit Unbefangenheit zur Theorie, genug mit ächter Begeisterung zur reinen Wissenschaft zurückkehrtest: das stempelte Dich, von Deinem Scharfsinn, Deiner Erfindsamkeit, Deiner Beobachtungsgabe zu schweigen, in unseren Augen zum Akademiker. Gerade weil Du nicht den gewöhnlichen Bildungsgang des deutschen Fachgelehrten durchmachtest, zählt die Akademie besonders auf Dich. Nicht bloss in dem Sinne, dass der ungewöhnliche Weg, auf dem Du Dich emporschwangst, ein Wahrzeichen ungewöhnlicher Befähigung ist, sondern weil dadurch, wie wir dies von manchen englischen Physikern rühmen, Dein Blick frischer, Deine Auffassung unbeirrter, Dein Urtheil freier blieb, als wenn Du gleich Anderen an den Lehrmeinungen der Schule gegängelt worden wärest.

Mir aber, der ich Deinen Werth früh erkannte und seit dreissig Jahren Dir durch eine Freundschaft verbunden bin, die ich zu den grössten Segnungen meines Lebens rechne, mir konnte als Sprecher dieser Körperschaft Erfreulicheres nicht begegnen, als Dich in deren Namen heut in unserer Mitte willkommen zu heissen.

(Folgt Ansprache an Hrn. Virchow.)

Ueber die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit der Kohle von der Temperatur.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 5. Jan.)

1874.

Matthiessen machte zuerst[1]) auf die merkwürdige Eigenschaft der Kohle aufmerksam, bei höherer Temperatur die Elektricität besser zu leiten, als bei niedriger. Er fand für die am besten leitende und zugleich schwerste und festeste Modification derselben, die Gasretortenkohle, welche durch Zersetzung des überhitzten Leuchtgases entsteht und an den Wandungen der Retorten der Gasbereitungsanstalten abgesetzt wird, die specifische Leitungsfähigkeit (Quecksilber = 1 gesetzt) 0,0236 bei 25° C. und zwischen 0 und 140 eine Verminderung des Widerstandes um 0,00245 für jeden Grad Celsius.

Beetz fand die Thatsache der Zunahme der Leitungsfähigkeit bei steigender Temperatur nur bei sogenannter künstlicher Kohle bestätigt, die aus Kohlenpulver mit einem geringen bindenden Zusatz von Theer oder Zuckerlösung zusammengepresst und darauf erhitzt wird, wodurch die Zuckerlösung in entweichendes Gas und Kohle zerlegt wird, aber nicht für Kohlenstäbe, die aus Retortenkohle geschnitten waren. Bei diesen konnte er keine Zunahme der Leitungsfähigkeit bei Erhöhung der Temperatur beobachten. Die Zunahme der Leitungsfähigkeit der sogenannten künstlichen Kohle erklärte Beetz durch einen stärkeren Druck, welchen die nur lose zusammenhängenden Kohlentheilchen auf einander ausüben müssten, wenn sie durch Erwärmung ausgedehnt werden. Ich selbst hatte öfters Gelegenheit, mich bei anderweitigen Versuchen zu überzeugen, dass Matthiessen's Angabe richtig war. Um so auffallender war mir das Resultat einer neueren Arbeit von Felix

1) Pogg. Ann. Bd. 103, S. 428.

Auerbach, vorgelegt von Riecke der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, Jan. 1879, dahin gehend, dass die Gasretortenkohle sich hinsichtlich der elektrischen Leitungsfähigkeit wie die Metalllegirungen verhalte, indem ihr Leitungswiderstand bei wachsender Temperatur in steigendem Verhältniss zunehme. Dass ein so exacter Beobachter, wie Matthiessen, sich so vollständig geirrt haben sollte, konnte ich kaum annehmen, obschon auch Beetz bei der Gasretortenkohle keine Zunahme der Leitungsfähigkeit finden konnte; die Versuche Auerbach's waren jedoch andererseits offenbar mit Sorgfalt und mit guten Instrumenten durchgeführt. Leider hatten alle drei Beobachter ihre Versuche nicht detaillirt genug beschrieben, um durch eine kritische Untersuchung derselben den Grund der Verschiedenheit ihrer Resultate ermitteln zu können. Bei der allgemeinen Anordnung der Auerbach'schen Versuche lässt sich im Wesentlichen nur die Art der Erhitzung der Kohlenstäbe und der geringe Widerstand derselben bemängeln. Die gleichmässige Erwärmung der ca. 6 mm dicken und 122 mm langen Stange in einer lufterfüllten Kammer bis zu einer bestimmten Temperatur dürfte sich nur sehr schwer ausführen lassen. Wie die Erwärmung der Luft ausgeführt wurde, ist aus der Beschreibung der Versuche nicht zu erkennen. Die Annahme, dass die Temperatur des Stabes mit der des Thermometers übereingestimmt habe, wenn keine weitere Veränderung des Widerstandes am Galvanometer zu bemerken war, dürfte für exacte Messungen wohl nicht zulässig sein. Da nur Mittel aus mehreren Messungen für jede Temperatur angegeben sind, ohne Angabe der Abweichung der einzelnen Messungen von einander, so fehlt jede Controle der Richtigkeit der vorausgesetzten Temperaturen der Kohlenstäbe. Immerhin ist die Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Resultate gross genug, um den Gedanken auszuschliessen, dass das Endresultat der Messungen des Hrn. Auerbach nur auf Beobachtungsfehlern beruhen könnte. Da eine unzweifelhafte Entscheidung der Frage, ob und in welchem Grade der Widerstand der Kohle bei Temperaturänderungen zu- oder abnimmt, nicht nur wissenschaftlich von grösstem Interesse ist, sondern auch eine grosse technische Wichtigkeit erlangt hat, so entschloss ich mich zu einer eingehenden Untersuchung derselben.

Ich liess mir cylindrische Kohlenstäbe verschiedener Dicke und Länge anfertigen. Dieselben wurden an den Enden etwa 15 mm weit galvanisch verkupfert. Dann wurden die Drähte einer Kupferlitze an die verkupferten Enden gelegt und dieselben mit feinem Kupferdraht einige Male umwunden, um sie dadurch an der Kohle zu befestigen. Das so vorbereitete Kohlenende wurde nun wieder in die Kupferlösung gebracht, und so viel Kupfer darauf niedergeschlagen, dass die Kupferdrähte mit der ersten Verkupferung und dadurch auch mit der Kohle fest verwachsen waren. Die Erwärmung der so vor-

bereiteten Kohlen geschah in dem Bade einer nicht leitenden Flüssigkeit. Für niedrige Temperaturen bis 60 ° C. benutzte ich ein schweres Petroleum, für höhere bis 270 ° C. geschmolzenes Paraffin. Die Flüssigkeit befand sich in einem Blechtroge und konnte durch untergesetzte Brenner erhitzt oder durch Einsetzen des Troges in Schnee abgekühlt werden. Der ca. 260 mm lange, 75 mm breite und 80 mm hohe Trog wurde durch eine Schieferplatte bedeckt, die von zwei kupfernen Bolzen durchbohrt war, welche an beiden Enden geeignete Klemmen trugen. In die unteren Klemmen wurden die Kupferenden der Kohle eingespannt und zu noch grösserer Sicherheit mit denselben verlöthet. Vermittelst der oberen Klemmen des Schieferdeckels des Troges wurde die Kohle in eine Brückencombination eingeführt, welche aus zwei genau abgeglichenen Widerständen im Verhältniss 1 : 100 und einer Widerstandsscala, die $^1/_{10}$ bis 10 000 Q. E. einzuschalten gestattete, bestand. Als Galvanometer diente ein empfindliches Spiegelgalvanometer mit vier Drahtrollen und einem astatischen Magnetnadelpaare. Zur Controle der Einrichtung und Constatirung ihrer Empfindlichkeit, sowie der Genauigkeit der Messungen wurde zunächst anstatt der Kohle eine zweite Widerstandsscala eingeschaltet und constatirt, dass beim Gleichgewicht die Widerstände der beiden Scalen sich immer im Verhältniss 1 : 100 befanden, wenn der Widerstand der Zuleitungen, der auf 0,033 Q. E. bestimmt wurde, in Rechnung gezogen wurde. Die Einschaltung von $^1/_{10}$ Q. E. im grossen Brückenzweige über oder unter das Gleichgewicht bewirkte eine Ablenkung des Spiegels um circa 20 Scalentheile, wenn 1 Einheit im kleinen Brückenzweige eingeschaltet war. Die Temperatur des Bades wurde mittelst zweier verglichener Fuess'scher Thermometer abgelesen, von denen das eine Temperaturen von — 30 bis + 70 mit 0,1 Grad Theilung, das andere Temperaturen von 10 bis 300° mit Gradtheilung abzulesen gestattete. Das Thermometer wurde durch einen seitlichen Schlitz in der Schieferplatte in das Bad eingeführt, welcher gestattete, dasselbe in der Nähe des Kohlenstabes in der ganzen Länge des Bades hin- und herzuführen, um dadurch eine gleichmässige Temperatur desselben und die Uebereinstimmung der Temperaturen des Thermometers und der Kohle zu bewirken. Es gelang mir auf diese Weise leicht, eine beliebige Temperatur hervorzubringen und so lange zu erhalten, bis mein Sohn Wilhelm, der mir bei diesen Versuchen assistirte, die Einstöpselung des Gleichgewichtswiderstandes vollendet hatte. Es wurden gewöhnlich mit derselben Kohle die Temperaturen von 0 bis 250° C. ein oder auch mehrere Male in auf- und absteigender Reihenfolge durchgemessen.

Der Widerstand der Zuleitungsdrähte betrug bei sämmtlichen Messungen 0,033 Q. E.; derselbe ist in Vertical-Colonne 4 von dem abgelesenen Widerstande in Col. 3 abgezogen. In Col. 8 ist die procen-

No. der Kohle	Temperatur	Abgelesener Widerstand	Widerstand — Zuleitung	Temp.-Differ.	Widerstands-Differenz	do. für 1° C.	Coëfficient
		E	E		E	E	
1	270°	1,223	1,190				
	260	1,226	1,193	10°	— 0,003	— 0,00030	0,00025
	240	1,233	1,200	20	— 0,007	— 0,00035	0,00029
	220	1,242	1,209	20	— 0,009	— 0,00045	0,00038
	200	1,249	1,216	20	— 0,007	— 0,00035	0,00029
	180	1,255	1,222	20	— 0,006	— 0,00030	0,00025
	160	1,259	1,226	20	— 0,004	— 0,00020	0,00016
	140	1,267	1,234	20	— 0,008	— 0,00040	0,00033
	120	1,273	1,240	20	— 0,006	— 0,00030	0,00024
	100	1,283	1,250	20	— 0,010	— 0,00050	0,00040
	80	1,292	1,259	20	— 0,009	— 0,00045	0,00036
	60	1,313	1,280	20	— 0,021	— 0,00105	0,00087
	40	1,321	1,288	20	— 0,008	— 0,00040	0,00031
	25	1,326	1,293	15	— 0,005	— 0,00033	0,00026
	3	1,333	1,300	22	— 0,007	— 0,00032	0,00025

Mittlerer Coëfficient = 0,000331.

tische Zunahme der Leitungsfähigkeit zwischen zwei benachbarten Messungen für 1° Temperatur berechnet. Die Messungen derselben Kohle wichen an verschiedenen Tagen erheblich von einander ab, was sich zum Theil aus Temperaturschwankungen der Zimmerluft erklärt, welche das Verhältniss des Widerstandes der Brückenzweige etwas veränderte. Genaue Versuche mit höherer Erhitzung als 270° (die noch durch ein Paraffinbad zu erreichen ist) sind nur schwierig anzustellen, da es an einer sicheren Erhitzungsmethode, sowie an bequemen Mitteln, die Temperatur der Kohle mit Genauigkeit zu bestimmen, fehlt. Um jedoch Gewissheit darüber zu erlangen, ob der Widerstand der Kohle auch bei Erhitzungen bis zur Glühhitze noch stetig abnimmt, liess ich ein ca. 200 mm langes Kupferrohr von ca. 20 mm lichter Weite anfertigen. Vermittelst zweier durchbohrter Gypspfropfen, durch welche die Kupferansätze der Kohlenenden hindurchgeführt wurden, ward der Kohlenstab so ziemlich in der Mitte des Kupferrohres schwebend erhalten. Das so vorbereitete Kupferrohr ward nun auf einen kleinen Chamotte-Ofen gelegt und durch ein in demselben angefachtes gleichmässiges Holzkohlenfeuer erhitzt. Der Widerstand der Kohle war bei Lufttemperatur vor der Erhitzung = 1,452 Q. E. Während der Erhitzung verminderte sich der Widerstand fortdauernd. Als das Kupferrohr so weit erhitzt war, dass kleine Zinnstückchen in Berührung mit seiner Oberfläche schmolzen, war der Widerstand = 1,375 Q. E. und als auch Zinkstückchen schmolzen, war er 1,298 Q. E. Nimmt man die Schmelztemperatur des Zinnes zu 230° C. und die des Zinkes zu 423° C. an, so ergiebt dies, die Zimmertemperatur zu 20° C. angenommen, zwischen ihr und der Zinnschmelztemperatur eine procentische Zunahme der Leitungsfähigkeit von 0,00025 und zwischen dieser

und der Zinkschmelztemperatur eine Zunahme von 0,00029 für jeden Temperaturgrad. Wahrscheinlich hatte die Kohle noch nicht vollständig die Temperatur der Röhre angenommen. Es wurde darauf die Erhitzung bis zur dunkelen Rothgluth des Kupferrohres fortgesetzt. Der Widerstand der Kohle veränderte sich dabei sehr unregelmässig und schwankend. Als die Temperatur des Rohres jedoch einige Minuten in der Rothgluth erhalten war, wurde er constant und auf 1,300 bestimmt. Es wurden nun die Kohlen schnell aus dem Ofen entfernt, und das Rohr schnell abgekühlt. Dabei nahm der Widerstand der Kohle stetig zu, bis er, als das Rohr die Zimmertemperatur wieder angenommen hatte, auf 1,685 stehen blieb. Die beobachtete bedeutende Vergrösserung des Widerstandes, den die Kohle nach erfolgter Abkühlung im Vergleich mit der Messung bei Beginn des Versuches zeigte, ist wohl wesentlich dem Umstande zuzuschreiben, dass der im Rohre enthaltene Sauerstoff einen Theil der Kohle verzehrt und ihren Widerstand dadurch dauernd vergrössert hatte. Dafür spricht auch die Vergrösserung des Widerstandes während der langsamen Erhitzung von der Zinkschmelzhitze bis zur Rothgluth. Während der schnellen Abkühlung von dieser bis zur Zimmertemperatur konnte keine in Betracht kommende weitere Verbrennung der Kohle eintreten. Nimmt man die Rothgluth zu 900° C. an, so ergiebt die Widerstandszunahme während der Abkühlung eine procentische Verminderung der Leitungsfähigkeit von 0,00033 pro Grad, — eine Uebereinstimmung mit den bei niedrigen Temperaturen gefundenen Werthen, die bei der Unsicherheit der Temperaturannahme wohl nur zufällig ist. Als erwiesen ist aber durch diesen Werth anzusehen, dass die Leitungsfähigkeit der Kohle bis zur Gluthhitze hin zunimmt.

Der Umstand, dass ich wie Matthiessen die Verbindung der Kohlenenden mit den Zuleitungsdrähten durch galvanische Verkupferung hergestellt hatte, während Auerbach sie dadurch bewirkte, dass er die Kohlenenden in geschmolzenes Loth tauchte und darin erkalten liess, machte es mir wahrscheinlich, dass hierin der hauptsächliche Grund der unrichtigen Ergebnisse der Versuche des Letzteren zu suchen sei. Ich habe bereits im Jahre 1860[1]) auf die Beobachtung hingewiesen, dass Metalldrähte, wenn sie ohne vorherige Amalgamirung in ein Quecksilberbad getaucht werden, einen Uebergangswiderstand zeigen, der wohl unzweifelhaft von einer schlecht leitenden, auf der Oberfläche der Metalle durch Molecularanziehung verdichteten Luftschicht, die der Strom durchlaufen muss, herrührt. Da die Kohlenstäbe, welche Auerbach benutzte, bei geringer Länge verhältnissmässig stark (etwa 6 mm im Quadrat) waren, mithin nur wenig Widerstand hatten, so konnte der Widerstand einer ähnlichen Luftschicht, die auf der Oberfläche der

[1]) Pogg. Ann. Bd. 110, S. 11.

Kohle wegen ihrer viel grösseren Verdichtungskraft für Gase auch viel stärker sein wird als bei den Metallen, einen überwiegenden Einfluss auf seine Messungsresultate ausgeübt haben. Zur Prüfung dieser Vermuthung brach ich einen Kohlenstab, der bereits zu Messungen gedient und eine entschiedene Vergrösserung der Leitungsfähigkeit bei wachsender Temperatur gezeigt hatte, etwa 20 mm von dem Kupferüberzuge des einen Endes ab und tauchte das freie Ende nach Auerbach's Methode in geschmolzenes Loth, an welches nach der Erkaltung der andere Zuleitungsdraht zur Brücke festgelöthet wurde. Der Erfolg war ein überraschender. Der Widerstand des jetzt etwa 10 mm langen Kohlenstabes vergrösserte sich ganz entschieden bei steigender Temperatur! Ein anderer Versuch mit einem längeren Kohlenstabe, dessen eines Ende ebenfalls nach Auerbach's Methode durch Loth mit dem Brückendrahte verbunden wurde, ergab zwar noch eine Zunahme der Leitungsfähigkeit bei wachsender Temperatur, doch war der Coëfficient derselben ein weit kleinerer geworden. Eine genaue Messung erwies sich als unthunlich, da der Widerstand, namentlich bei höheren Temperaturen, zu schwankend war.

Endlich wurde noch ein Gasretortenkohlenstab von quadratischem Querschnitte, von 63 □mm Durchschnittsfläche und 120 mm Länge, zunächst an den Enden mit Loth umgossen und dann der Widerstand bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Die Messungen waren sehr unconstant, doch war ein entschiedenes Ansteigen des Widerstandes bei steigender Temperatur zu beobachten. Darauf wurden die Lothkappen entfernt und die Enden galvanisch verkupfert. Es ergab sich jetzt bei steigender Temperatur eine ebenso entschiedene und ganz regelmässige Verminderung des Widerstandes.

Durch diese Versuche ist wohl unzweifelhaft erwiesen, dass bei der von Auerbach benutzten Methode der Umgiessung der Kohlenenden mit Loth keine directe Verbindung der Kohle mit dem Metalle erzielt wird, dass im Gegentheil wie beim Eintauchen eines nicht direct amalgamirbaren Metalles in Quecksilber eine die Kohle und das umhüllende Metall trennende Schicht verdichteter Luft auch nach der Erkaltung des Lothes fortbesteht, und dass die abweichenden Resultate Auerbach's hierdurch ihre vollständige Erklärung finden.

Es ist hiermit aber die Frage noch nicht entschieden, ob die den Leitungswiderstand vergrössernde Luftschicht selbst die Eigenschaft besitzt, ihren Leitungswiderstand bei wachsender Temperatur in dem beobachteten Masse zu vergrössern. Es ist auch denkbar, dass die ungleiche Ausdehnung des Metalles und der Kohle eine Lockerung und Verbindung und eine Verminderung der Zahl der wirklichen Berührungspunkte zwischen Kohle und Metall herbeiführt. Dass bei der galvanischen Verkupferung eine trennende Luftschicht nicht auftritt, ist wohl namentlich dem Umstande zuzuschreiben, dass die Flüssigkeit

das auf der Kohlenoberfläche condensirte Gas auflöst, bevor der Kupferniederschlag beginnt. Es empfiehlt sich aus diesem Grunde auch, die Kohlenenden vor Beginn der Verkupferung auszukochen oder doch einige Zeit in der erhitzten Verkupferungsflüssigkeit stehen zu lassen. Anstatt der Verkupferung habe ich mich auch mit gutem Erfolge der Vergoldung der Kohlenenden in einer heissen Cyan-Goldlösung bedient. Mit der Goldschicht wurden dann die kupfernen Zuleitungen durch Kupferniederschlag in der beschriebenen Weise metallisch verbunden.

Mit einem auf diese Weise mit Zuleitung versehenen runden Kohlenstabe von 2,43 mm Dicke und 148 mm Länge zwischen den Kupferansätzen, welche aus einem ausgewählten, sehr dichten und feinkörnigen Stück Berliner Gasretortenkohle geschnitten waren, wurde dann die folgende Versuchsreihe erzielt. Bei dieser sowie bei den späteren Versuchsreihen wurde sowohl der Widerstand genauer gemessen, als auch die Temperatur längere Zeit constant gehalten, als bei den früheren Versuchen. (Siehe Tabelle A auf nachfolgender Seite.)

Die specifische Leitungsfähigkeit der Gasretortenkohle ist hiernach bei 0 °C. 0,0136 (Quecksilber = 1) und der Coëfficient der Zunahme der Leitungsfähigkeit 0,000345 pro Grad Celsius.

Die sogenannte künstliche Kohle, welche jetzt vorzugsweise zur Erzeugung des elektrischen Lichtes benutzt wird, wird in der Regel aus gepulverter Gasretortenkohle mit Theer oder concentrirter Zuckerlösung als Bindemittel gepresst und durch wiederholtes Glühen und Tränken dicht und gut leitend gemacht. Für diese hatte Beetz eine beträchtliche Zunahme der Leitungsfähigkeit bei wachsender Temperatur constatirt, während er eine solche bei Kohlenstäben, die aus Gasretortenkohlen geschnitten waren, nicht fand. Es erschien nicht unwahrscheinlich, dass die aus zersetztem Theer oder Zucker entstandene Kohle, welche die Gaskohlen-Partikelchen trennt, andere Eigenschaften besitzt als die Gasretortenkohle, da die aus festen Kohlenwasserstoffen reducirte Kohle sehr hartnäckig auch noch bei starker Erhitzung Wasserstoff zurückhält und dann ein sehr schlechter Leiter ist — wie z. B. die nicht sehr stark und anhaltend geglühte Holzkohle. Eine solche schlecht leitende Zwischenschicht konnte auch den Coëfficienten der Zunahme der Leitungsfähigkeit wesentlich beeinflussen. Der Versuch hat dies jedoch nicht bestätigt. Es wurden zwei verschiedene französische, künstliche, runde Kohlenstäbe in der beschriebenen Weise mit Zuleitungen versehen und ihr Widerstand bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Es ergaben sich dabei folgende Tabellen (siehe Tabelle B auf nachstehender Seite):

Es folgt hieraus, dass die künstlichen, durch Pressung aus Kohlenpulver erzeugten Kohlenstangen, ebenso wie die aus Gasretortenkohle geschnittenen, bei wachsenden Temperaturen eine grössere Leitungsfähigkeit zeigen, und dass die Zunahme nicht ganz so gross ist wie bei

Tabelle A.

Berliner Gasretorten-Kohle						Bemerkungen
Widerstand gemessen	Widerstand wirklich	Temperatur	Differenz des Widerstandes	Differenz der Temperatur	Coëfficient der Zunahme pro Grad	
2,2443	2,2095	75				Die Kohle wurde zum ersten Male benutzt
2,2260	2,1912	100	0,0183	25	— 0,000329	
2,2070	2,1722	125	0,0190	25	— 0,000364	
3,1864	2,1516	151	0,0206	26	— 0,000347	
2,1659	2,1311	175	0,0205	24	— 0,000397	
2,1660	3,1312	173,5	0,0156	22,5	— 0,000323	Am folgenden Tage gemessen.
2,1816	2,1468	151	0,0184	24,5	— 0,000346	
2,2000	2,1652	126,5	0,0192	25,3	— 0,000347	
2,2192	2,1844	101,2	0,0193	25,2	— 0,000347	
2,2385	2,2037	76				
2,2385	2,2037	76				
2,2196	2,1848	101	0,0189	25	— 0,000343	
2,2028	2,1680	125	0,0168	24	— 0,000320	
2,1857	2,1509	149,5	0,0171	24,5	— 0,000323	
2,1674	2,1326	145	0,0183	25,5	— 0,000334	
2,1492	2,1144	201,5	0,0182	26,5	— 0,000322	

Tabelle B.

	gemessener Widerstand	Kohlenwiderstand	Temperatur	Differenz der Widerstände	Differenz der Temperatur	Coëfficient	Bemerkungen
Kunstkohle No. 1	1,4091	1,3850	230	0,0142	30	— 0,000338	Der Widerstand der Zuleitungen betrug 0,0241
Länge 148 mm	1,4233	1,3992	200	0,0211	50	— 0,000298	
Querschnitt 4,8208 □mm	1,4444	1,4203	150	0,0209	50	— 0,000288	
	1,4653	1,4412	100	0,0231	50	— 0,000317	
	1,4884	1,4643	50	0,0118	24,6	— 0,000329	
	1,5002	1,4761	25,4				
					Mittel	— 0,000314	
Kunstkohle No. 2	1,5035	1,4692	75				
Länge 155 mm	1,4948	1,4595	100,5	0,0097	25,5	0,000261	Der Widerstand der Zuleitungen betrug 0,0343
Querschnitt 4,465 □mm	1,4830	1,4487	125	0,0108	24,5	0,000302	
	1,4712	1,4369	150	0,0118	25	0,000326	
	1,4598	1,4255	176	0,0114	26	0,000306	
	1,4500	1,4157	199	0,0098	23	0,000299	
	1,4506	1,4163	190	0,0099	24	0,000289	
	1,4605	1,4262	175	0,0100	25	0,000278	
	1,4705	1,4362	150	0,0110	25	0,000320	
	1,4821	1,4478	125	0,0114	25	0,000312	
	1,4935	1,4592	100	0,0114	24,8	0,000312	
					Mittel	0,000301	

der Gasretortenkohle. Die von anderen Beobachtern gefundenen abweichenden Resultate werden wahrscheinlich ebenfalls auf mangelhafte Verbindung der Enden zurückzuführen sein.

Bei den beschriebenen Versuchen stellt sich keine bestimmte Vergrösserung oder Verminderung des Zunahme - Coëfficienten mit der Temperatur heraus. Ich nehme auch um so mehr Anstand, aus den mitgetheilten Messungen in dieser Hinsicht eine bestimmte Ansicht auszusprechen, als sie überhaupt nicht so bestimmte und sichere Resultate angegeben haben, wie die angewendete Methode sie erwarten liess. Ob diese bisher nicht erklärlichen Unregelmässigkeiten darin zu suchen sind, dass die leitende Verbindung auch bei der galvanischen Verkupferung noch nicht als vollkommen zu betrachten ist, oder ob die Kohle ähnlichen, ihre Leitungsfähigkeit ändernden Einflüssen unterliegt, wie das Selen, muss einer eingehenderen Untersuchung vorbehalten bleiben. Die Erklärung, welche Beetz für die Erscheinung der Zunahme der Leitungsfähigkeit der Kohle bei steigender Temperatur gegeben hat, würde nur auf Kohlenpulver oder lose zusammenhängende Kohle anwendbar sein, welche von festen, sich weniger wie die Kohle ausdehnenden Wänden umschlossen war. Da das Gesammtvolumen des Körpers in demselben Verhältniss wächst wie das seiner Theile, so kann eine vergrösserte Pressung der Theile bei gleichmässiger Temperaturerhöhung bei nicht eingeschlossenen Körpern auch nicht eintreten. Beetz führt zur Unterstützung seiner Hypothese einige Versuche an, die er mit Metallspähnen angestellt hat. Sowohl durch äussere Compression als durch Erhitzung verminderte sich der Leitungswiderstand derselben. Dass dies eintreten muss, wenn wirklich eine Compression des Pulvers auftritt, ist wohl unzweifelhaft und auch durch Versuche vielfach bestätigt. Wenn das Pulver von Gefässwänden theilweise umschlossen war, konnte daher sehr wohl eine Verminderung des Widerstandes eintreten. Wahrscheinlich ist aber auch die auf der Oberfläche der Theilchen des Pulvers condensirte Luft von Einfluss gewesen. Der Rückschluss vom Pulver auf eine zusammenhängende Masse ohne umschliessende Wände, wie die geformte Kohle, kann aber nicht zugestanden werden. Dass selbst ein starker Druck die Leitungsfähigkeit der geformten Kohle nicht ändert, ist durch einen einfachen Versuch nachzuweisen. Versieht man die Enden eines Kohlencylinders durch galvanische Verkupferung mit sicheren, angelötheten Zuleitungen, und setzt dann den Kohlenstab in der Richtung seiner Axe einer starken Pressung aus, so verändert sich der Leitungswiderstand desselben nicht im mindesten, wenn man selbst den Druck bis zur Zertrümmerung der Kohle steigert. Es zeigt dies, dass die gut imprägnirte und gebrannte geformte Kohle als fester, wenn auch noch poröser Körper und nicht mehr als nur lose zusammenhängendes, verschiebbares Pulver zu betrachten ist. In noch viel höherem Grade gilt dies von

der ungepulverten, festen Gasretortenkohle. Der Bildungsprocess dieser Kohle geht in ähnlicher Weise vor sich, wie die galvanische Abscheidung der Metalle, da, wie schon hervorgehoben wurde, die Kohle in unmittelbarer Berührung mit der Fläche der Retortenwand frei wird und sich durch Molecularanziehung im Augenblick des Freiwerdens an einander legt. Die Gasretortenkohle ist mithin nicht als zusammengebackenes Pulver, sondern als eine feste Kohlenmasse zu betrachten. Dass das specifische Gewicht der Gasretortenkohle ein verschiedenes ist, wird wohl mehr eine Folge eingeschlossener kleiner Hohlräume und der Einschliessung fremder Körper als einer Verschiedenheit der Masse selbst zuzuschreiben sein. Die allgemein gültige Eigenschaft der Kohle, in höherer Temperatur besser zu leiten, muss daher als eine Eigenschaft der Kohlenmaterie selbst und nicht als eine Folge ihrer Structur aufgefasst werden.

Eine Analogie für dies Verhalten der Kohle bildet das der Elektrolyte — zu denen nach Hittorf auch Einfach-Schwefelkupfer und andere zusammengesetzte feste Körper zu rechnen sind — und von einfachen Körpern Tellur und Selen. Letzteres ist bei schneller Abkühlung aus dem geschmolzenen Zustande ein Nichtleiter — wie auch der Diamant. Wird es bis 100° C. erwärmt, so wird es krystallinisch und leitet dann die Elektricität, wie die Kohle, in der Weise, dass seine Leitungsfähigkeit bei wachsender Temperatur zunimmt. Das Selen verliert bei der Erwärmung auf 100° C. latente Wärme; es ist daher wahrscheinlich, dass diese Verminderung der latenten Wärme es zu einem Leiter der Elektricität gemacht hat. Wenn man schnell erstarrtes, sogenanntes amorphes Selen bis in die Nähe seines Schmelzpunktes, d. i. bis über 200° C. erhitzt und längere Zeit in dieser Temperatur erhält, so verliert es noch mehr latente Wärme und nimmt dann, wie ich gezeigt habe[1]), eine weit grössere Leitungsfähigkeit an. Es leitet die Elektricität aber jetzt wie ein Metall, d. i. seine Leitungsfähigkeit nimmt bei Erhöhung der Temperatur ab. Es erscheint daher wahrscheinlich, dass die Eigenschaft des krystallinischen, noch latente Wärme haltenden Selens, die Elektricität wie die Elektrolyte und die Kohle in der Weise zu leiten, dass die Leitungsfähigkeit mit der Temperatur zunimmt, daher rührt, dass es noch latente Wärme enthält. Da latente wie freie Wärme ein Hinderniss der Elektricitätsleitung bilden oder wahrscheinlich sogar die Ursache des Leitungswiderstandes sind, und da die Stabilität allotroper Zustände, welche Wärme gebunden halten, durch Erhitzung sich vermindert oder ganz verloren geht, wobei dann die latente Wärme entweicht, so muss das Hinderniss, welches die letztere dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzt, bei erhöhter Temperatur geringer werden.

[1]) Pogg. Ann. Bd. 159, S. 127.

Die bessere Leitungsfähigkeit der Kohle bei höherer Temperatur lässt sich daher wie beim krystallinischen Selen erklären, wenn man annimmt, dass die Kohle wie dieses eine latente Wärme enthaltende, allotrope Modification eines hypothetischen metallischen Kohlenstoffs ist.

Für diese Annahme spricht auch das Verhalten der Kohlenstäbe, zwischen denen ein Davy'scher Lichtbogen gebildet wird. Das elektrische Licht hat bekanntlich seinen Sitz namentlich auf der hell glühenden Oberfläche der positiven Kohle. Von dieser geht nun auch der Transport der Kohle zur negativen Kohle aus. Stellt man zwei nicht zu starke Kohlenstäbe mit ebenen parallelen Grenzflächen einander dicht, etwa 1 mm von einander, gegenüber und lässt einen sehr starken Strom zwischen ihnen übergehen, so findet ein schnelles Uebergehen der Kohle von der positiven zur negativen Kohle statt, und die letztere wächst eben so schnell, als die obere verzehrt wird. Die Folge ist, dass der Zwischenraum fortwandert, ohne merklich grösser zu werden. Es erklärt sich dies dadurch, dass die Kohle während ihres Transportes durch den Bogen nicht verbrennen kann, weil der schmale Zwischenraum das Eindringen der Luft nicht oder doch nur in sehr geringem Masse gestattet. Den durch gleichgerichteten Strom gebildeten elektrischen Lichtbogen pflegt man so zu reguliren, dass der Bogen gerade die nöthige Länge hat, um alle transportirte Kohle zu verbrennen. In diesem Falle bemerkt man deutlich durch ein lichtschwächendes Glas, dass es wesentlich die oft wechselnden Stellen der positiven Kohlenoberfläche, von denen der Davy'sche Bogen grösstentheils ausgeht, sind, die sehr hell leuchten. Es ist also nicht, wie wohl angenommen wird, das Aufschlagen der durch den Bogen losgerissenen und transportirten Kohlentheilchen auf die negative Kohle, sondern das Loslösen derselben von der positiven Kohle, was das Licht wesentlich erzeugt. Diese Wärmeerzeugung an der Trennungsstelle der losgelösten von der festen Kohle ist kaum anders zu erklären als dadurch, dass der Kohlenstoff durch den elektrischen Strom in metallischer Form fortgeführt wird, dass mithin die latente Wärme der Kohle an der Trennungsstelle frei wird und dadurch diese vorzugsweise hoch erhitzt.

Beiträge
zur
Theorie der Legung und Untersuchung submariner Telegraphenleitungen.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 17. Dec.)

1874.

Als Ausgangspunkt der submarinen Telegraphie sind die in den Jahren 1847 bis 1852 in Preussen angelegten unterirdischen Leitungen zu betrachten. Es waren zwar schon früher Versuche mit Isolirung der zu unterirdischen Leitungen bestimmten Drähte durch Glasröhren, Kautschuk etc. gemacht, unter denen namentlich die von Jacobi in Petersburg im Jahre 1842[1]) in ziemlich grossem Massstabe durchgeführten Erwähnung verdienen, — doch alle waren fehlgeschlagen. Im Jahre 1846 schlug ich der preussischen Regierung die Anwendung der kurz vorher in Europa bekannt gewordenen Guttapercha als Isolirungsmittel vor. Die Eigenschaft derselben, im erwärmten Zustande plastisch zu werden, verbunden mit ihrer isolirenden Eigenschaft, liessen sie als besonders geeignet für den vorliegenden Zweck erscheinen. Doch auch die hier, sowie auch zu gleicher Zeit in England mit diesem Material angestellten Versuche ergaben kein befriedigendes Resultat, da die Verbindungsnähte der um den Draht gewalzten Guttapercha sich nach kurzer Zeit wieder trennten. Erst mit Hülfe einer von mir und Halske im Jahre 1847 construirten und in Thätigkeit gesetzten Umpressungsmaschine, durch welche die durch Erwärmung plastisch gemachte Guttapercha ohne Naht um den Draht gepresst wird, fand das Problem der Herstellung hinreichend isolirter unterirdischer oder submariner Leitungen seine Lösung.

Wenn auch das ausgedehnte Netz unterirdischer, mittelst umpresster Guttapercha isolirter Leitungen, welches in den folgenden

[1]) Pogg. Ann. Bd. 28, S. 409.

Jahren mit zu grosser Hast über Norddeutschland und in Russland ausgebreitet wurde, sich keiner langen Dauer zu erfreuen hatte — namentlich aus dem Grunde, weil zur Ersparung von Kosten die Drähte ohne äusseren Schutz und in zu geringer Tiefe in den Boden gelegt waren, — so gaben sie doch Gelegenheit, Erfahrungen über die Herstellung und Instandhaltung solcher isolirten Leitung zu sammeln und deren physikalische Eigenschaften zu studiren. Es blieb jedoch dem englischen Unternehmungsgeiste vorbehalten, diese hier gewonnenen Kenntnisse und Erfahrungen auf einem Gebiete zu verwerthen, wo die Concurrenz der billigeren oberirdischen Leitungen ausgeschlossen ist, — dem der submarinen Telegraphie.

Schon im Jahre 1850 legte Mr. Brett zuerst einen einfachen, mit Guttapercha isolirten Leitungsdraht durch den Kanal von Dover nach Calais. Da dieser sich, wie vorauszusehen, nicht als dauerhaft erwies, ersetzte er ihn 1851 durch einen mit umpresster Guttapercha isolirten Leitungsdraht, der mit einem Gewinde von starken Eisendrähten zum Schutze gegen äussere Beschädigungen übersponnen war, und stellte damit das erste brauchbare submarine Kabel her.

Die Legung dieser Kabel bot bei der dortigen geringen Wassertiefe keine grossen Schwierigkeiten dar. Die Versuche, welche Brett später machte, derartige Kabel auch durch tiefe Meeresstrecken hindurch zu legen, misslangen jedoch, weil man die bei der Auslegung von Tiefseekabeln auftretenden Kräfte noch nicht richtig erkannt und daher auch die nothwendigen Vorkehrungen zu ihrer Beherrschung nicht richtig getroffen hatte. Die erste gelungene Tiefseekabellegung zwischen Cagliari und Bona im Jahre 1857, bei der ich mitzuwirken berufen war, bot mir Veranlassung, den mechanischen Vorgang der Legung von Kabeln zu untersuchen. Das Kabel wird nach der in England angenommenen Praxis in einen oder mehrere ringförmige Räume, welche im Legungsschiffe hergerichtet sind, derartig in einer fortlaufenden Spirale eingebettet, dass es über eine über dem Kabel in der Axe des Ringes angebrachte Rolle auslaufen kann, ohne sich zu verschlingen oder anderweitig gehindert zu werden. Denkt man sich das Schiff nun in dauernder gleichmässiger und geradliniger Fortbewegung das Kabel hinter sich ins Meer fallen lassend, so wird jeder Theil des, bei der grossen suspendirten Länge als vollkommen biegsam anzunehmenden Kabels mit einer gleichen und constanten Geschwindigkeit zum Meeresboden niedersinken. Es muss der Abstand eines jeden Theiles des fallenden Kabels von der Oberfläche des Wassers mithin proportional der Zeit sein, welche verstrichen ist, seit derselbe das Schiff verliess. War nun die Geschwindigkeit des Schiffes constant, so sind diese Zeiten der horizontalen Entfernung des Schiffes proportional, d. h. das Kabel muss eine gerade Linie vom Schiff bis zum Meeresboden bilden. Diese gerade Linie sinkt parallel mit sich selbst zu

Boden. Das Schiff muss sich nach Verlauf der Zeiteinheit mithin gerade an dem Punkte befinden, wo die niedersinkende Kabellinie dann die Wasseroberfläche schneidet. Fällt also jeder Theil des suspendirten Kabels durch sein Gewicht im Wasser mit der Geschwindigkeit v zu Boden und wird die Schiffsgeschwindigkeit mit c bezeichnet, so muss der Winkel α, welchen die Kabellinie mit dem Horizonte bildet, durch die Gleichung

$$1) \qquad \operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$$

bestimmt werden, wenn man annimmt, dass bei der stationären Bewegung eines parallel mit sich selbst im Wasser fallenden Kabelstückes der Weg proportional der Kraft ist. Das Gewicht w der Einheit der Kabellänge im Wasser lässt sich in zwei Componenten zerlegen, von denen die eine, $w \,.\, \cos \alpha$, das Kabel senkrecht auf seine Richtung durch das Wasser zu Boden zieht, während die andere, $w \,.\, \sin \alpha$, einen Zug in der Axe des Kabels ausübt, mithin bestrebt ist, das geradlinige Kabel auf der vom Wasser gebildeten schiefen Ebene, auf der es ruht, hinabzuziehen. Die Gesammtwirkung dieser letzten Kräfte ist $w \,.\, l \,.\, \sin \alpha$, wenn l die Länge des suspendirten Kabels bezeichnet, oder, da $l \,.\, \sin \alpha = h$, d. i. gleich der Wassertiefe ist, so ist der gesammte Zug $P = w \,.\, h$ oder stets gleich dem Gewichte des bei ruhendem Schiffe senkrecht zum Meeresboden hinabhängenden Kabels. Wird das Kabel auf dem Schiffe nicht durch Friction zurückgehalten, so wirkt dieser Zugkraft P nur die Reibung entgegen, welche das Wasser dem Niedergleiten des Kabels in der Axenrichtung entgegensetzt. Die Grösse derselben ist von der Beschaffenheit der Oberfläche und dem Durchmesser des Kabels abhängig. Bei schweren, mit Eisen umhüllten Kabeln ist sie im Vergleich zum specifischen Gewichte des Kabels so gering, dass man den bei weitem grössten Theil des Zuges P oder $w \,.\, h$ durch Friction am Bord des Schiffes äquilibriren muss, wenn man verhindern will, dass das Kabel mit grosser Geschwindigkeit nutzlos in die Tiefe hinabgeleitet.

Um die nöthige Grösse dieses auf dem Schiffe anzubringenden Frictionswiderstandes jederzeit richtig feststellen zu können, ist die Kenntniss der Meerestiefe an jeder vom Kabel zu überschreitenden Stelle und die Anbringung eines Dynamometers nothwendig, welches stets die Grösse der Spannung anzeigt, mit welcher das Kabel das Schiff verlässt. Da ferner die horizontale Componente dieser Kabelspannung das Schiff im Fortschreiten hemmt, so muss die Kraft, mit welcher das Schiff fortbewegt wird, hinlänglich gross sein, um diesen Widerstand überwinden und das Schiff doch noch in hinreichender Geschwindigkeit forttreiben zu können. Als dem entsprechend der mit dem Kabel beladene Dampfer mit einem hinlänglich kräftigen Bremsapparat und einem von mir nach Analogie der Kettenwage construirten

Dynamometer versehen und seine, für Ueberwindung des auf das schwere Kabel auszuübenden grossen Bremszuges viel zu geringe Maschinenkraft durch Vorspann eines anderen, stärkeren Dampfschiffes ausreichend verstärkt war, gelang es, die dortige bedeutende Meerestiefe mit dem Kabel glücklich zu überschreiten.

Die Herren Longridge und Brooks haben später[1]) die Theorie der Kabellegung einer eingehenden Untersuchung unterworfen. Dieselbe ist in mathematischer Beziehung nicht anfechtbar und führt namentlich in aller Strenge den Fall eines schief im Wasser liegenden Kabels und die Curve durch, welche dasselbe während des Auslegens im Wasser in dem Falle annimmt, wenn es mit Spannung am Meeresboden gelegt wird. In physikalischer Beziehung giebt die Arbeit und die aus ihr gezogenen Folgerungen aber grossen Bedenken Raum, da eines der angenommenen Grundprincipien, welches wesentlichen Einfluss auf die gewonnenen Resultate hat, unrichtig ist. Es fehlt der Arbeit auch sehr an klarer Erkenntniss der wesentlichen Momente und übersichtlicher Entwickelung der gegebenen Resultate.

Die Kräfte, welche auf das fallende Kabel einwirken, sind die Schwere und die ihr entgegenwirkenden Reibungskräfte. Unter letzteren sind zu unterscheiden die Gleitreibung, welche dem Hinabgleiten des Kabels in seiner eigenen Richtung entgegenwirkt und die Reibung mit Verdrängung von Wassermasse, welche beim Falle des Kabels in senkrechter Richtung auf seine eigene auftritt. Die letztere ist proportional dem Quadrate der Fallgeschwindigkeit, die erstere proportional der Geschwindigkeit selbst. Longridge und Brooks haben beide Kräfte als proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit angenommen und gelangen deshalb namentlich bei der Bestimmung der Grösse der Bremskraft, welche auf dem Schiffe angebracht werden muss, zu unrichtigen Resultaten. Bei der früher von mir aufgestellten Gleichung $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$ habe ich zwar auch die Fallgeschwindigkeit senkrecht zur Kabelrichtung als proportional der Geschwindigkeit angenommen, es wird sich aber später zeigen, dass dies für diejenigen Werthe des Winkels α, welche beim Kabellegen gewöhnlich vorkommen, beinahe streng richtig ist. Meine Annahme, dass das Kabel bei gleichmässiger Schiffsgeschwindigkeit eine gerade Linie bildet, ist von der Wirkungsweise der Reibungskräfte unabhängig. Das Kabel legt sich stets in eine Gerade von solcher Neigung, dass die Componente der Schwere in der Richtung des Kabels durch die Gleitreibung, die auf diese senkrechte Componente durch die Reibung mit Massenverdrängung äquilibrirt wird. Es ist dann Bewegungsgleichgewicht und daher gleichförmige Bewegung vorhanden.

[1]) Longridge and Brooks, on submerging telegraphic cables, Proc. of the instit. of civil engineers. vol. XVII. London. W. Clowes and sons 1858.

Es bezeichne im Folgenden:

α den Winkel zwischen der Horizontalen und der Richtung des Kabels,

φ den Winkel zwischen der Richtung des Kabels und der Richtung, in welcher jedes Kabelstück wirklich zu Boden sinkt,

c die Schiffsgeschwindigkeit,

u die constante Geschwindigkeit, mit welcher das Kabel in verticaler Lage im Wasser fällt,

v die Fallgeschwindigkeit, wenn die Lage des Kabels horizontal ist,

w das Gewicht der Längeneinheit des Kabels im Wasser,

h die Tiefe des Meeres,

l die Länge des geradlinig im Wasser suspendirten Kabels,

p die Reibungs- und Bremskraft, mit welcher das Kabel auf dem Schiffe zurückgehalten wird,

s den Ueberschuss der auslaufenden Kabellänge über den gleichzeitigen Fortschritt des Schiffes oder das, was die englische Terminologie slack nennt.

Es sei $A'B'$ die Lage, in welche das Kabel AB nach der Zeiteinheit gelangt ist. Ein Punkt a des Kabels gelange in der Zeit-

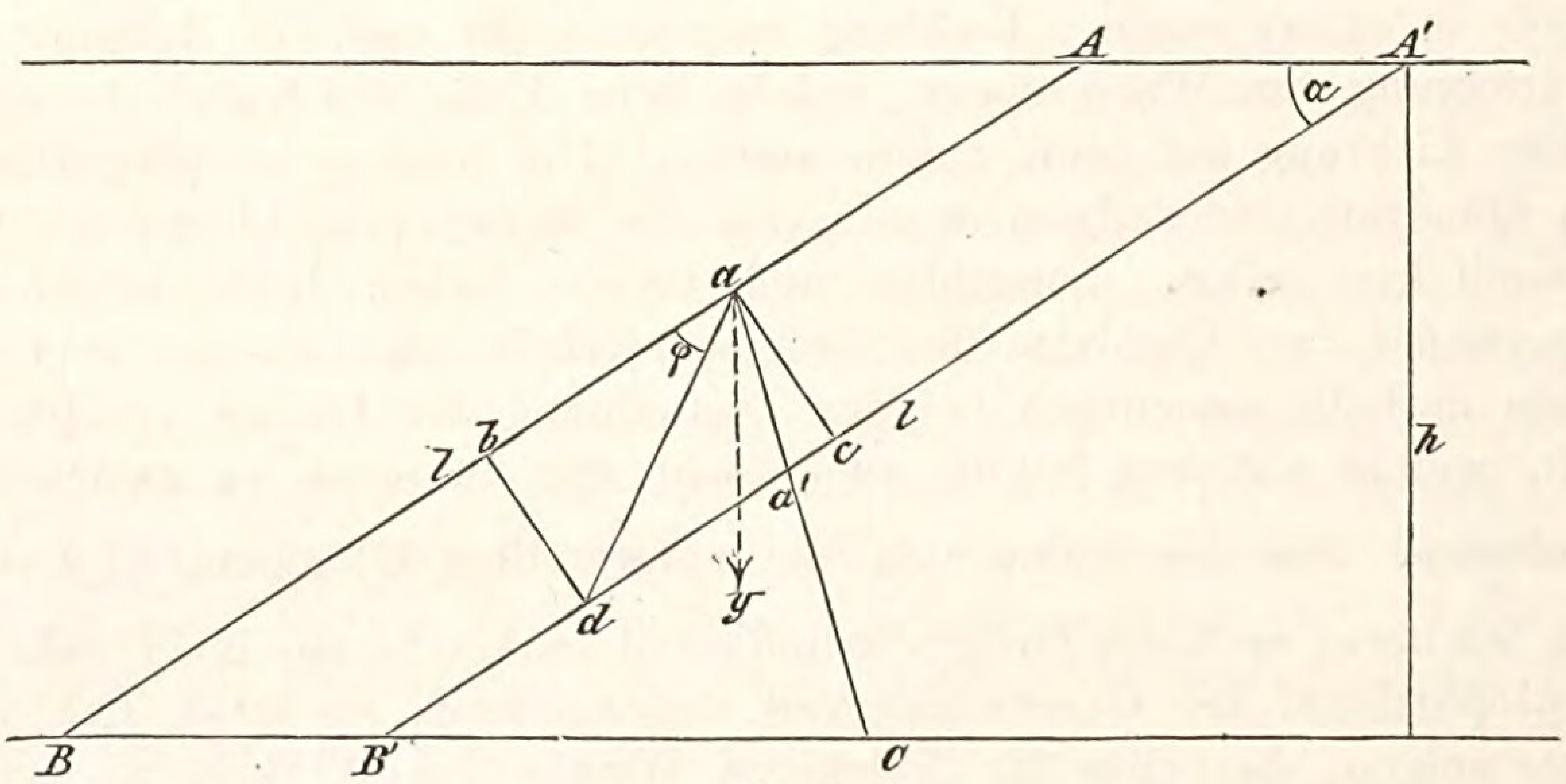


Fig. 30.

einheit nach d. Die Bewegung $a\,d$ werde in die beiden Bewegungen $a\,b$ und $a\,c$ zerlegt. Es müssen sich dann in beiden Richtungen alle Kräfte aufheben, damit die vorhandene Geschwindigkeit unverändert bleibt. Der Coëfficient der Gleitreibung werde vorläufig mit r, derjenige der Reibung der Massenverdrängung mit q bezeichnet. Die Bedingung des Gleichgewichts der Kräfte in den beiden Richtungen $a\,b$ und $a\,c$ giebt dann die Gleichungen:

$$\text{a)}\quad l\,.\,w \sin\alpha - r\,.\,l\,.\,\overline{ab} - p = 0,$$

$$\text{b)}\quad l\,.\,w \cos\alpha - d\,.\,l\,.\,\overline{ac_2} = 0.$$

Die übrigen Grössen werden ausgedrückt durch die Relationen

$$h = l \cdot \sin\alpha$$

$$\overline{ac} = c \cdot \sin\alpha$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\overline{ac}}{\overline{ab}}$$

$$c = \frac{\overline{dd'}}{c}.$$

Die letzte Relation findet ihre Begründung darin, dass die Richtung, in welcher sich der Punkt a bewegen muss, wenn ohne Mehrverbrauch an Kabel ausgelegt wird, den Winkel $c\,a\,g$ halbiren muss, damit $BC = BA$ wird. Für die Coëfficienten r und q sind die oben definirten Geschwindigkeiten u und v einzuführen. Es ist nämlich beim senkrechten Falle des Kabels im Wasser:

in verticaler Lage $u = \frac{w}{r}$ aus $u \cdot r - w = 0$,

in horizontaler Lage $v = \sqrt{\frac{w}{q}}$ aus $v^2 \cdot q - w = 0$;

u, v und w sind Constanten des Kabels, welche vor dem Legen bestimmt werden können. Es sind dies zugleich die einzigen Kabelconstanten, deren Kenntniss hier erforderlich ist.

Für den Winkel α, welchen das Kabel mit der Horizontalen bildet, erhält man aus der Gleichung b) und den übrigen Relationen:

$$\cos\alpha = -\tfrac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \sqrt{1 + \tfrac{1}{4}\frac{v^4}{c^4}}$$

oder, wenn man hieraus $\frac{v}{c}$ entwickelt:

2) $$\frac{v}{c} = \frac{\sin\alpha}{\sqrt{\cos\alpha}} = \operatorname{tg}\alpha \cdot \sqrt{\cos\alpha}.$$

Diese Gleichung ist streng richtig. Bei der praktischen Kabellegung kommen jedoch meistens nur kleinere Werthe von α vor, für welche Gleichung 1) genügend genaue Resultate giebt, da für kleine Werthe von α der Ausdruck $\sqrt{\cos\alpha}$ nahe gleich 1 ist. Es sollen jedoch im Folgenden zuerst die aus den Gleichungen a) und b) und den übrigen streng richtigen Relationen abzuleitenden Folgerungen gezogen und die erhaltenen Formeln dann später durch Einführung der für kleinere Werthe von $\frac{v}{c}$ angenähert richtigen Gleichung $\operatorname{tg}\alpha = \frac{v}{c}$ vereinfacht werden.

Zunächst erhält man für die Bremskraft p bei beliebigem slack:

3) $$p = w\,h - \frac{c}{u}\,w\,h\left\{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + \frac{s}{\sin\alpha}\right\}$$

und, indem man hierin $s = 0$ setzt, für die Bremskraft P ohne slack:

$$P = wh - \frac{c}{u} wh \,.\, \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}.$$

In Gleichung 3) hat das erste Glied wh unter gewöhnlichen Verhältnissen weitaus überwiegenden Werth, so dass im Wesentlichen die Bremskraft gleich dem Gewicht des Kabels ist, wenn dasselbe senkrecht vom Schiff herunterhängend gedacht wird; dieser Werth ist zugleich die obere Grenze für die Bremskraft, welche beinahe erreicht wird, wenn das Schiff bei sehr grosser Geschwindigkeit das Kabel ohne überschüssige Mehrausgabe auslegt.

Von dieser oberen Grenze kommen zwei Glieder in Abzug, welche wir mit P' und S bezeichnen wollen, nämlich

$$P' = \frac{c}{u} wh \,.\, \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}, \qquad S = \frac{c}{u} wh \frac{s}{\sin\alpha}.$$

Dieselben haben sehr einfache Bedeutungen:
es ist

$$P = rl \,.\, \overline{d'c} \quad , \quad S = rl \,.\, \overline{dd'}.$$

$\overline{d'c}$ ist aber die Strecke, um welche das Kabel hinuntergleitet, wenn ohne überschüssige Mehrausgabe gelegt wird; $\overline{dd'}$ ist die Strecke, welche noch zu $\overline{d'c}$ hinzukommt, wenn mit überschüssiger Mehrausgabe gelegt wird; P ist daher der Betrag der Gleitreibung im ersten Fall, S derjenige Betrag derselben, welcher im zweiten Fall noch hinzukommt.

P' ist zugleich, da $P = wh - P'$, die Grösse, um welche beim Legen ohne überschüssige Mehrausgabe die Bremskraft geringer ist als das Gewicht wh; von derselben lässt sich auf verschiedene Weise einsehen, dass sie beinahe völlig unabhängig ist von der Schiffsgeschwindigkeit, ausser bei ganz geringen Werthen dieser letzteren, und ausserdem proportional der Tiefe h.

Die Grösse S ist ebenfalls proportional der Tiefe, aber ausserdem, wenigstens bei mittleren und grösseren Schiffsgeschwindigkeiten, proportional dem Quadrat der Schiffsgeschwindigkeit.

Um die Abhängigkeit der Grössen P' und S von den übrigen und namentlich von der Schiffsgeschwindigkeit zu veranschaulichen, hat Hr. Dr. Frölich, dem ich für seine freundliche Unterstützung bei diesen Berechnungen zu danken habe, in der folgenden Tabelle eine Uebersicht der Werthe von P, P', c, s für alle vorkommenden Schiffsgeschwindigkeiten berechnet, wenn die Tiefe = 2000 Faden und $s = 10$ pCt., für das schwere atlantische Kabel, welches Longridge und Brooks behandeln, bei welchem

$$w = 0{,}3208 \text{ (engl. Pfund)},$$
$$u = 24{,}201, \quad v = 3{,}082 \text{ (engl. Fuss, Secunde)}.$$

Tabelle I.

$c =$	2′	4′	6′	8′	10′	12′	15′
$P =$	3617,1	3607,1	3605,0	3604,7	3604,8	3604,8	3604,4
$P' =$	232,5	242,5	244,6	244,8	244,8	244,8	245,2
$S =$	34,2	95,6	198,4	342,9	529,0	756,3	1173,3
$wh =$	3849,6.						

Um ferner eine Anschauung zu geben von den bedeutenden Veränderungen des Bremsgewichtes für ein bestimmtes s, lassen wir eine Tabelle der Werthe dieser Grösse (p) folgen, für die beim atlantischen Kabel vorkommenden Tiefen, wenn die überschüssige Mehrausgabe $s = 10$ pCt.

Tabelle II.

	$c =$	2′	4′	6′	8′	10′	12′	15	$wh =$
$h =$ 500 Faden	$p =$	899,7	877,9	851,7	815,5	769,0	695,9	607,8	962,4
= 1000 „	=	1799,3	1755,8	1703,3	1630,9	1537,9	1391,7	1215,5	1924,8
= 2000 „	=	3598,6	3511,6	3406,6	3261,8	3075,8	2783,4	2431,0	3849,6
= 3000 „	=	5397,9	5367,4	5109,9	4892,7	4613,7	4175,1	3646,5	5774,4

Für den Winkel φ, welcher die Richtung der wirklichen Bewegung des Kabels bestimmt, hat man die Gleichung

$$4)\qquad \operatorname{tg}\varphi = \frac{\frac{c}{u}}{1 - \frac{p}{wh}} = \frac{c}{u}\,\frac{wh}{p'},\ \text{wenn}\ p' = wh - p;$$

und endlich für s, die überschüssige Mehrausgabe von Kabel,

$$5)\qquad s = \frac{p'}{wh}\,\frac{u}{c}\sin\alpha - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$$

oder auch

$$s = \sin\alpha\,.\,\operatorname{cotg}\varphi - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Zum Vergleich mit den obigen Formeln 2) bis 5) lassen wir die entsprechenden folgen, welche sich aus der Darstellung von Longridge und Brooks ergeben, mit unseren Bezeichnungen.

Die Formel 2) bleibt dieselbe; dagegen erhält man

$$\text{statt 3)}:\ p = wh - wh\frac{c^2}{u^2}\frac{(1 + s - \cos\alpha)^2}{\sin\alpha},$$

$$\text{statt 4)}:\quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{c}{u}\sqrt{\frac{\sin\alpha}{1 - \frac{p}{wh}}} = \frac{c}{u}\sqrt{\frac{wh}{p'}\sin\alpha},$$

$$\text{statt 5)}:\quad s = \frac{u}{c}\sqrt{\frac{p'}{wh}\sin\alpha} - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Die Abweichung dieser Formeln von den unsrigen liegt in der Annahme eines quadratischen Gesetzes für die Gleitreibung; man er-

hält aus denselben zu hohe Bremsgewichte, wenn man bei bekannter Schiffsgeschwindigkeit und Tiefe mit einer bestimmten Mehrausgabe legen will, und ferner eine zu hohe Mehrausgabe s, wenn Tiefe, Schiffsgeschwindigkeit und Bremsgewicht gegeben sind und s aus den Werthen für diese Grössen berechnet wird.

Wir führen nun die in der Gleichung 1) enthaltene Näherung ein, indem wir dieselbe an Stelle der Gleichung 2) setzen und vermittelst derselben den Winkel α, der sich in der Praxis kaum bestimmen lässt, aus allen übrigen Formeln eliminiren.

Zunächst vergleichen wir in der folgenden Tabelle die nach beiden Gleichungen für das oben behandelte Kabel für die vorkommenden Schiffsgeschwindigkeiten erhaltenen Werthe:

Tabelle III.

	$c =$ 2′	4′	6′	8′	10′	12′	15′
nach 2) $\alpha =$	68° 35′	41° 44′	28° 45′	21° 47′	17° 30′	14° 37′	11° 44′
nach 1) $\alpha =$	57° 1′	37° 37′	27° 21′	21° 4′	17° 8′	14° 24′	11° 37′

Aus dieser Vergleichung ergiebt sich, dass bei einer Schiffsgeschwindigkeit von mehr als 8′ per Secunde oder von circa 5 Seemeilen per Stunde für praktische Zwecke Gleichung 1) als richtig angenommen werden kann.

Wir setzen daher im Folgenden $\operatorname{tg}\alpha = \frac{v}{c}$ und vernachlässigen die Grössen von der Ordnung $\left(\frac{v}{c}\right)^3$. Alsdann erhalten wir die angenäherten Formeln:

$$3') \qquad p = wh\left\{1 - \frac{1}{2}\frac{v}{u} - \frac{c^2}{uv}s\right\}$$

$$4') \qquad P = wh\left\{1 - \frac{1}{2}\frac{v}{u}\right\}, \text{ und}$$

$$5') \qquad s = \left(1 - \frac{p}{wh}\right)\frac{uv}{c^2} = \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}.$$

Die Gleichung 5) zeigt, dass die überschüssige Mehrausgabe s umgekehrt proportional ist dem Quadrat der Schiffsgeschwindigkeit, ferner das erste wichtigere Glied im Ausdruck für s proportional der Differenz $wh - p$, d. h. zwischen dem Gewicht des senkrecht hängenden Kabels und der Bremskraft.

Beim Legen eines Kabels kann sich die Mehrausgabe s aus drei Ursachen ändern: wegen Aenderung der Tiefe h, wegen Aenderung der Bremskraft p und wegen Aenderung der Schiffsgeschwindigkeit c. Differenzirt man s nach diesen 3 Grössen und dividirt immer durch s, so erhält man die procentischen Aenderungen s in Bezug auf dieselben, nämlich:

$$\frac{\delta s}{s} = \frac{\delta h}{h} \frac{\frac{p}{wh} \frac{uv}{c^2}}{s},$$

$$\frac{\delta s}{s} = -\frac{\delta p}{p} \frac{\frac{p}{wh} \frac{uv}{c^2}}{s},$$

$$\frac{\delta s}{s} = \frac{\delta c}{c} \frac{\left(-2 \frac{p}{wh}\right)\frac{uv}{c^2} + \frac{v^2}{c^2}}{s},$$

Wenn z. B. $h = 2000$ Faden, $p = 3261{,}8$ Pfund, $c = 8$ Fuss, so ist $s = 0{,}10 = 10$ pCt.; nun ist aber in diesem Fall

$$\frac{p}{wh} \frac{uv}{c^2} = 9{,}9 \text{ und } \quad -2\left(1 - \frac{p}{wh}\right)\frac{uv}{c^2} + \frac{v^2}{c^2} - = -2{,}1.$$

Wenn sich nun z. B. h, p und c jedes um 10 pCt. seiner eigenen Grösse vergrössern, so ändert sich s im ersten Fall etwa um + 99 pCt., im zweiten etwa um — 99 pCt., im dritten um — 21 pCt. seiner eigenen Grösse; man hat also statt 10 pCt. Mehrausgabe resp. 19,9 pCt., 0,1 pCt., 7,9 pCt. Man ersieht hieraus, dass die überschüssige Mehrausgabe, wenn p, h oder c sich ändern, sich bedeutend stärker verändert, als jene Grössen selbst, dass aber die Aenderungen derselben durch Veränderung der Tiefe und der Bremskraft viel stärker sind als diejenigen durch Veränderungen der Schiffsgeschwindigkeit.

Eine wichtige Bemerkung ergiebt sich noch aus Gleichung 4'), dass nämlich P, die Bremskraft beim Legen ohne überschüssige Mehrausgabe, bei nicht ganz geringer Schiffsgeschwindigkeit nur abhängt von der Tiefe und derselben proportional ist; dies zeigte auch schon Tab. I. Daraus folgt aber, dass man umgekehrt die Tiefe aus der Bremskraft P bestimmen kann; wie genau dies geschehen kann bei Schiffsgeschwindigkeiten von 4' an, zeigen die folgenden Tabellen. In Tab. IV (S. 244) sind die Bremskräfte P nach der streng gültigen Formel

$$P = wh\left(1 - \frac{c}{u} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)$$

berechnet; Tab. V (S. 244) enthält die aus diesen Werthen nach der angenähert richtigen Formel

$$h = \frac{P}{w} \frac{1}{1 - \frac{1}{2} \frac{v}{u}}$$

berechneten Tiefen, d. h. man denkt sich P experimentell gemessen und die Kabelconstanten u, v, w bekannt, und bestimmt nun hieraus die Tiefe h.

Tabelle IV.

h	c =	4′	6′	8′	10′	12′	15′
= 500 Fad.	P =	901,8	901,3	901,2	901,2	901,2	901,1
= 1000	=	1803,6	2802,5	1802,4	1802,4	1802,4	1802,2
= 2000	=	3607,1	3606,0	3604,8	3604,8	3604,8	3604,4
= 3000	=	5410,7	5407,5	5407,1	5407,2	5407,2	5406,6

Tabelle V.

h (wirklich)	h (berechnet)					
= 500 Faden	= 500,3	500,1	500,0	500,0	500,0	500,0
= 1000	= 1000,7	1000,1	1000,1	1000,1	1000,1	1000,0
= 2000	= 2001,5	2000,3	2000,1	2000,0	2000,1	1999,9
= 3000	= 3002,4	3000,4	3000,2	3000,2	3000,2	2999,9

Im Allgemeinen ergiebt sich, auch aus den angenäherten Formeln, dass, um ein Kabel mit bestimmter Mehrausgabe zu legen, genaue Kenntniss der Constanten des Kabels, ausserdem aber noch der Tiefe und der Schiffsgeschwindigkeit nothwendig ist. Die Kabelconstanten können wir uns als vor der Legung gut bestimmt denken; die Messungen jedoch der Tiefe und der Schiffsgeschwindigkeit lassen sich während der Legung nur sehr unvollkommen ausführen. Es fragt sich nun, ob es kein Mittel gebe, diese Schwierigkeiten zu umgehen oder zu heben.

Es wirft sich vor allem die Frage auf, ob man nicht ohne Bremsgewicht legen könne? In diesem Falle wäre nämlich

$$s = \tfrac{1}{2}\,\frac{v(2u - v)}{c^2}$$

d. h. die überschüssige Mehrausgabe nur abhängig von der Schiffsgeschwindigkeit, nicht mehr von der Tiefe.

Ohne Bremsgewicht und ohne überschüssige Mehrausgabe zu legen, ist nach dieser Formel nur möglich, wenn

$$2u - v = 0, \quad \text{also} \quad v = 2u,$$

d. h. wenn das Kabel mit einer sehr grossen Gleitreibung ausgestattet würde; in diesem Fall wäre es aber auch nicht möglich, mit Mehrausgabe zu legen.

Nehmen wir nun an, man wolle mit 10 % Mehrausgabe legen und ohne Bremsgewicht, so müsste bei dem oben behandelten schweren (atlantischen) Kabel die Schiffsgeschwindigkeit 26′,4, bei dem von Longridge angeführten leichten Kabel (v = 1,404, u = 11,024, w = 0,06578) 12′,0 sein, überhaupt, da hierfür

$$c = \sqrt{\frac{v(2u - v)}{2s}}$$

ist, würde man durch Verringerung des spec. Gewichts, namentlich aber durch Vergrösserung der Gleitreibung ein Kabel construiren können, das ohne Bremsgewicht gelegt werden könnte, und bei welchem die Regulirung der Mehrausgabe bloss durch Veränderung der Schiffsgeschwindigkeit geschähe.

Verzichtet man aus irgendwelchen Gründen auf Veränderung der Construction des Kabels, so bietet sich noch die Anwendung eines von meinem Bruder Dr. C. W. Siemens vorgeschlagenen praktischen Mittels dar, nämlich durch einen Versuch zu bestimmen, welche Bremskraft man in Anwendung bringen muss, um bei den obwaltenden Verhältnissen die gewollte Mehrausgabe von Kabel zu erhalten. Es besteht derselbe darin, dass man bei constanter Schiffsgeschwindigkeit die Bremse so lange stärker belastet, bis keine Abnahme der Geschwindigkeit des Auslaufens des Kabels bei weiterer Belastung der Bremse mehr eintritt. Man hat dann die Belastung gefunden, bei welcher bei der obwaltenden Schiffsgeschwindigkeit ohne slack gelegt wird und kann nun leicht die Belastung der Bremse so reguliren, dass die gewollte Mehrausgabe erzielt wird. Bei stark bewegtem Schiffe und den durch diese Bewegungen hervorgerufenen Unregelmässigkeiten der Auslaufsgeschwindigkeit, sowie bei sehr unebenem Meeresgrunde muss aber auch dies Mittel häufig versagen.

Mit Sicherheit wird man nur in der Weise stets einen vorherbestimmten Mehrverbrauch erzielen können, wenn man gleichzeitig mit dem Kabel eine Schnur oder einen Draht auslaufen lässt, dessen Coëfficienten u und v annähernd dieselben wie die des Kabels sind. Wenn man dieses Kabelmodell dann stets mit einer mindestens so grossen Bremskraft zurückhält, dass es ohne Mehrverbrauch, also mit Spannung, am Meeresgrunde ausgelegt wird, so bildet ein angebrachter Zählapparat einen unfehlbaren, auch durch Meeresströmungen nicht beeinträchtigten Messer der Schiffsgeschwindigkeit über dem Meeresgrunde, und man braucht dann die Kabelbremse nur immer so stark zu belasten, dass die stets ersichtliche Auslaufsgeschwindigkeit des Kabels in dem gewünschten Verhältnisse zu der des Kabelmodells steht. Die hierdurch erwachsenen Mehrkosten werden dadurch reichlich aufgewogen werden, dass der ohne slack ausgelegte Draht nicht die horizontale Schiffsgeschwindigkeit, sondern die überschrittene Länge des Meeresbodens misst, daher den nöthigen Kabelbedarf, um den Unebenheiten desselben ohne Spannung im Kabel folgen zu können, in seiner Länge schon enthält. Um die Gefahr des Eintretens einer solchen Spannung auf unebenem Meeresgrunde und die Bildung von längeren Kettenlinien des Kabels daselbst zu vermeiden, ist aber die gebräuchliche Mehrausgabe von 10 bis 15 Procent Kabel hauptsächlich nothwendig. Durch Ersparung an ausgelegtem Kabel würde man daher die Kosten des Kabelmodells reichlich wiedergewinnen.

Ein submarines Kabel oder eine unterirdische Leitung bietet nur dann Garantien längeren guten Dienstes, wenn die Isolation vollständig ist, d. i. wenn der Widerstand der isolirenden Umhüllung gleich dem ist, welcher sich aus der Rechnung, unter Zugrundelegung des specifischen Leitungswiderstandes des verwendeten isolirenden Materials, ergiebt. Zeigt sich eine Verminderung dieses Isolationswiderstandes, so ist anzunehmen, dass an einer oder mehreren Stellen eine Oeffnung im isolirenden Ueberzuge vorhanden ist, welche dem Wasser Zutritt zum Leiter gestattet. Es kann dieser Fall schon bei der Fabrication eintreten; er zeigt sich aber auch oft erst bei der Legung selbst oder auch mehr oder weniger lange Zeit nach derselben. Es findet daher sowohl während der Fabrication wie auch während und nach der Legung eine fortlaufende Controle der physikalischen Eigenschaften des Kabels statt. Stellt sich das Vorhandensein eines Fehlers heraus, so ist es von der grössten Wichtigkeit, mit möglichster Genauigkeit den Ort des Fehlers, d. i. seine Entfernung von den Enden, zu bestimmen. Beim Legen des Kabels ist es auch von Wichtigkeit, dass diese Bestimmung möglichst rasch ausgeführt werden kann, damit das Schiff, falls der Fehler noch in seiner Nähe liegt, das zuletzt gelegte Kabelstück mit dem Fehler sogleich zurücknehmen kann. Die theoretische Grundlage solcher Fehlerbestimmungen habe ich schon im Jahre 1850 angegeben[1]). Sie besteht darin, dass man sich durch zwei Strom- und Widerstandsmessungen zwei Gleichungen verschafft, mit Hülfe deren man den unbekannten Widerstand des Fehlers, d. i. des Widerstandes, den die Fehlerstelle dem Durchgange der Elektricität zur Erde entgegensetzt, eliminiren und dann das Verhältniss der Entfernung des Fehlers von den Enden der Leitung bestimmen kann. Die Strommessung kann entweder gleichzeitig von beiden Seiten des isolirten Leiters geschehen, wobei das entfernte Ende isolirt oder zur Erde abgeleitet sein kann, oder sie geschehen beide von einer Seite aus, während das entfernte Ende bei der einen Messung regulirt, bei der anderen zur Erde abgeleitet ist. Da Strommessungen weniger genau und schwieriger auszuführen sind, wie Widerstandsmessungen, so formte ich später, nachdem ich eine feste, reproducirbare Widerstandseinheit dargestellt und auf Grundlage derselben nach dem Gewichtssysteme geordnete, genaue Widerstandsscalen angefertigt hatte[2]), die auf Strommessungen basirten Formeln für die Fehlerlage in äquivalente, auf Widerstandsmessungen basirte, um[3]).

Ist $ab = l$ der isolirte Leitungsdraht, dessen Länge und Leitungswiderstand bekannt sind, sind x und y die Entfernungen des Fehlers von a und b und z der Widerstand der Fehlerstelle, so sind die von

[1]) Pogg. Ann. Bd. 79, S. 192.

[2]) Pogg. Ann. Bd. 90, S. 1; Bd. 93, S. 91; Bd. 120, S. 512.

[3]) Outline of the principles and practice involving in dealing with the electrical conditions of submarine electric telegraphes by Werner and C. W. Siemens, July 1860.

mir aufgestellten Bestimmungsgleichungen für die Entfernung x des Fehlers vom Ende a folgende:

1. $\frac{x}{y} = \frac{w}{w_{,}}$, wenn beide Enden in demselben Raum und w und $w_{,}$ die Widerstände der Brückenzweige bezeichnen, bei welchen kein Strom durch das Galvanometer geht;

2. $\frac{x}{y} = \sqrt{\frac{a(c-b)}{b(c-a)}}$, wenn a und b die von beiden Seiten gemessenen Widerstände sind, während jedesmal das entfernte Ende mit Erde verbunden war;

3. $x = \frac{a_{i} - b_{i} + l}{2}$, wenn a_{i} und b_{i} die von beiden Seiten gemessenen Widerstände sind, während das entfernte Ende isolirt war und l den Widerstand der fehlerfreien Leitung bezeichnet;

4. $x = (l - b) + \sqrt{(b_{i} - b)(l - b)}$, wenn bei der obigen Bezeichnung von l, b_{i} und b nur Messungen von einem Ende der Leitung zur Fehlerbestimmung benutzt werden.

Da im ersten Falle die veränderliche Grösse des Fehlerwiderstandes sowie die Polarisation, welche in höchst störender Weise an der Fehlerstelle auftritt, nicht in Betracht kommt, weil beide bestimmenden Messungen in demselben Augenblicke ausgeführt werden, so gewährt diese Methode, wo sie anwendbar ist, ausreichend genaue Bestimmungen der Fehlerlage. Ganz anders liegt die Sache aber bei denjenigen Messungen, bei welchen die Drahtenden weit von einander entfernt sind, wie bei einem ausgelegten submarinen Kabel. Die feinen, oft kaum mit dem Auge erkennbaren Oeffnungen, durch welche das Wasser in leitende Verbindung mit dem Leitungsdrahte tritt, bieten dem Durchgange des Stromes einen ausserordentlich veränderlichen Widerstand dar. Ausserdem ist die Polarisation, welche an diesen Fehlerstellen auftritt, oft sehr bedeutend und variabel. Die Massbestimmungen, welche man durch Anwendung der obigen Formel erhält, sind daher nur selten und in der Regel nur dann befriedigend, wenn der Fehler gross ist, d. h. geringen Widerstand hat.

In neuerer Zeit sind von den Herren Clark und Jenkin zwei Methoden zur Bestimmung der Lage eines Fehlers an ausgelegten Kabeln bekannt gemacht, welche die Unsicherheit, die der Fehlerbestimmung nach meinen älteren Methoden in Folge der Variabilität der physikalischen Eigenschaften der Fehlerstelle anhaftet, grossentheils beseitigen. Hr. Clark isolirt das eine Ende der Leitung und schaltet zwischen das andere Ende und die Erde eine galvanische Kette und einen bekannten Widerstand ein. Mit Hülfe genau übereinstimmender Elektrometer wird dann die Potentialdifferenz des mit dem Widerstande verbundenen Batteriepoles und des Kabelendes und gleichzeitig das Potential des isolirten anderen Endes der Leitung gemessen. Dieser

letztere giebt das an der Stelle des Fehlers in der Leitung vorhandene Potential an, und es ist dann, wenn w der eingeschaltete Widerstand, P und P' die gemessenen Potentiale der Enden desselben, p das am anderen Ende der Leitung gemessene Potential der Fehlerstelle ist,

$$P - P' : w = P' - p : x,$$

wenn x den Widerstand der Leitung von der Station, wo die Batterie eingeschaltet ist, bis zum Fehler bezeichnet. Es ist daraus

$$x = \frac{w\,(P' - p)}{P - P'}.$$

Da vorausgesetzt wird, dass die Messungen von P, P' und p gleichzeitig und entweder in absolutem Masse oder mit genau übereinstimmenden Instrumenten gemacht werden, so ist die Veränderlichkeit des Widerstandes der Fehlerstelle in der That ohne Einfluss auf das Resultat. Ebenso wird der nachtheilige Einfluss der Polarisation der Fehlerstelle eliminirt, da dieselbe nur den Effect hat, das Potential der Fehlerstelle zu vergrössern, also hier ebenso wie die Vergrösserung des Fehlerwiderstandes wirkt. Die Schwierigkeiten der praktischen Durchführbarkeit der drei gleichzeitigen Messungen an verschiedenen Orten sind aber sehr gross, und Elektrometer-Messungen werden auch bei grösster Sorgfalt der Beobachter kaum den hinreichenden Grad von Genauigkeit geben.

Die von Hrn. Jenkin publicirte Methode basirt darauf, dass gleichzeitig der durch den Fehler hindurchgehende Strom und das Potential beider Enden der Leitung gemessen wird. Zu dem Zwecke wird eine Batterie nebst einem Galvanometer zwischen das eine Ende der Leitung und die Erde eingeschaltet, während das andere Ende der Leitung isolirt ist. Ausserdem sind beide Leitungsenden mit Elektrometern verbunden. In der Formel des Herrn Jenkin:

$$x = \frac{2}{2\sqrt{\frac{k}{i}}}\, l\,n\, \frac{P + \frac{k}{\sqrt{\frac{k}{i}}}\, J - P' \cdot e^{l\sqrt{\frac{h}{i}}}}{-P + \frac{k}{\sqrt{\frac{k}{i}}}\, J + P' \cdot e^{-l\sqrt{\frac{k}{i}}}}$$

in welcher x den gesuchten Abstand, k den Widerstand der Längeneinheit des Leiters, i den Isolationswiderstand der Längeneinheit des Kabels, J den in absolutem Masse gemessenen Strom durch das Galvanometer und P und P' die in absolutem Masse gemessenen Potentiale am Anfang und Ende des Leiters bezeichnen, ist der Stromverlust durch die isolirende Hülle des Leiters in Rechnung gezogen. Da die unvollkommene Isolation bei kleinen Kabelfehlern, deren Bestimmung

stets die grössten Schwierigkeiten macht, schon wesentlich ins Gewicht fällt, so würde die Jenkin'sche Fehlerbestimmungsformel von grossem Werthe sein, wenn nicht schon die gleichzeitige Messung einer Stromstärke und zweier Potentiale nach absolutem Masse an verschiedenen Orten und in der für die Zuverlässigkeit des Resultates nothwendigen Genauigkeit dieselbe für praktische Verwendung wenig brauchbar machte.

Wie sich aus dem Obigen ergiebt, kann eine Fehlerbestimmungsmethode nur dann zuverlässige Resultate geben, wenn der ungemein unconstante Widerstand und die variable Polarisation der Fehlerstelle durch sie unschädlich gemacht sind. Für Fehler mit grossem Widerstande in langen Leitungen kommt noch die Bedingung hinzu, dass der Isolationsstrom, d. i. der auf der ganzen Länge des fehlerfreien Kabels durch die Masse des Isolators hindurchgehende Strom, durch sie Berücksichtigung findet oder eliminirt wird. Die Methode muss ferner schnell und leicht ausführbar sein.

Ich glaube diesen Bedingungen durch folgende Methode einigermassen entsprochen zu haben.

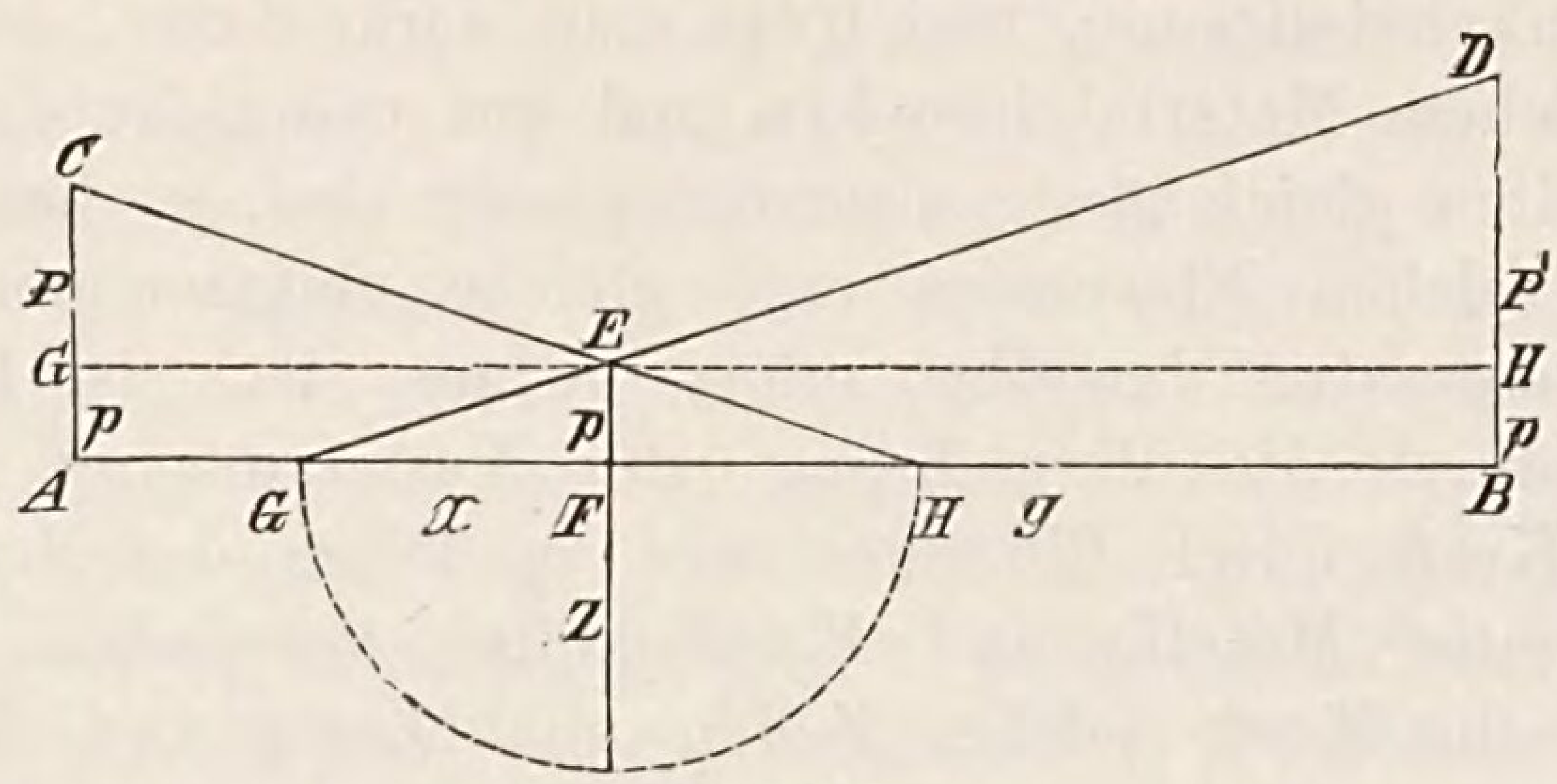


Fig. 31.

Es bezeichne AB das fehlerhafte Kabel, F die Lage des Fehlers, dessen Widerstand im Augenblick der Messung $= z = FG = FH$ sei. $AC = P$ sei das Mass des Potentials, welches eine zwischen A und die Erde eingeschaltete galvanische Kette dem Kabelende ertheilt. Es wird dann CH das Gefälle des durch den Fehler gehenden Stromes und EF das Potential in F sein, wenn das andere Ende der Leitung in B isolirt ist. In B wird dann ebenfalls das Potential p auftreten, wenn, wie einstweilen angenommen wird, die Kabelhülle bis auf die Fehlerstelle F vollkommen isolirend ist. Zieht man nun durch G und E eine gerade Linie, so ist DB das Mass eines Potentials P', welches, wenn umgekehrt das Kabel in A isolirt ist, der Fehlerstelle F dasselbe Potential p ertheilt, welches sie vorher durch P von B aus erhielt. Es sind nun die Dreiecke CGE und DHE ähnlich, mithin

$$P - p : P' - p = x : y,$$

wenn x und y die Abstände des Fehlers von beiden Enden A und B

der Leitung bezeichnen. Da $x + y$ die bekannte Länge der Leitung bezeichnet, so ist die Fehlerlage hierdurch vollständig bestimmt. Unter der Voraussetzung, dass Widerstand und Polarisation bei beiden kurz nach einander erfolgenden Messungen dieselben waren, bleiben dieselben ohne Einfluss auf das Resultat der Messung. Ebenso ist die unvollkommene Isolation durch die Hülle des Leiters in dem Falle ohne Einfluss auf das Messungsresultat, wenn der Fehler in der Mitte der Leitung oder derselben nahe liegt. Ist die Lage des Fehlers dagegen näher dem einen Ende der Leitung, so kann man leicht eine Correctur anbringen, welche den Einfluss auf das Messungsresultat in einer für praktische Zwecke ausreichenden Genauigkeit compensirt.

Die Ausführung der Potentialmessungen ist leicht mit ausreichender Genauigkeit ausführbar, wenn jede Endstation ein empfindliches Spiegelgalvanometer, dem durch eine regulirbare Nebenschliessung jeder Grad der Empfindlichkeit gegeben werden kann, einen sehr grossen Widerstand, etwa von einigen Millionen Einheiten und die Mittel besitzt, sich eine Batterie von bestimmter elektromotorischer Kraft zusammenstellen zu können. Verwendet man zu diesen Batterien die Daniell'sche Kette mit Zinkvitriollösung, und trägt man dafür Sorge, dass die Zinkpole aus gleichem Material bestehen und gut verquickt sind, und dass die Flüssigkeiten gleichmässig zusammengesetzt sind, so hat eine gleiche Anzahl von solchen Elementen eine gleiche elektromotorische Kraft, wenn die Temperatur derselben eine constante ist. Ist Letzteres der Fall und dadurch die Vermehrung oder Verminderung der elektromotorischen Kraft durch Thermoströme in Folge der Berührung ungleich erwärmter Metalle und Flüssigkeiten vermieden, so ist die elektromotorische Kraft solcher Zellen unabhängig von ihrer Temperatur. Es ist nun leicht, den beiden Galvanometern gleiche Empfindlichkeit zu geben, indem man jedes mit dem zugehörigen grossen Widerstande und einer Batterie von einer vorher bestimmten Zahl von Elementen in einen Leitungskreis schaltet und die Nebenschliessung des Galvanometers so regulirt, dass dessen Magnet eine ebenfalls für beide Stationen vorher bestimmte Ablenkung zeigt. Ungleichheiten des Leitungswiderstandes der Batterien und der Galvanometer können hierbei vernachlässigt werden, wenn die eingeschalteten Widerstände, wie vorausgesetzt, sehr gross sind. Schaltet man nun die mit ihrem zugehörigen grossen Widerstande auf gleiche Empfindlichkeit gebrachten Galvanometer mit diesen zwischen die Enden des Kabels und die Erde ein, so giebt die Grösse ihrer Ablenkung das mit gleichem Masse gemessene Potential der Berührungsstellen an. Eine messbare Veränderung des Potentials wird durch diese Nebenschliessung nicht verursacht, wenn der Widerstand der Batterien und des ganzen Kabels ihr gegenüber sehr klein ist.

Die Ausführung der für diese Fehlerbestimmungsmethode erforder-

lichen Messungen geschieht einfach in der Weise, dass Station *A* eine beliebige Batterie zwischen Kabelende und Erde einschaltet. Ist die Ladung und Polarisation der Fehlerstelle constant geworden, so lesen *A* und *B* die Ablenkung ihres Galvanometers ab, und Station *A* unterbricht darauf den Contact des Kabelendes mit dem freien Batteriepole. Station *B* erkennt dies aus der Verminderung der Ablenkung seines Galvanometers. Sie theilt dann der Station *A* durch conventionelle Stromimpulse die Grösse der erhaltenen Ablenkung mit und bringt darauf dauernd den gleichen freien Pol seiner Batterie mit seinem Kabelende in Contact. Station *A* giebt ihr dann durch ein vereinbartes Zeichen die Nachricht, ob dessen Galvanometer mehr oder weniger abgelenkt wurde, wie die Ablenkung in *B* betrug. *B* vergrössert oder vermindert nun die elektromotorische Kraft seiner Batterie so lange, bis es von *A* das Zeichen bekommt, dass die Gleichheit der Ablenkung erreicht ist. Zur Controle verbinden dann abwechselnd *A* und *B* ihre Batterien mit dem Kabelende und corrigiren die elektromotorische Kraft ihrer Batterien dabei so lange, bis jede an dem anderen Ende der Leitung die gleiche Ablenkung hervorbringt. Die Aenderung der elektromotorischen Kräfte der Batterien kann entweder durch Vermehrung oder Verminderung der Zahl der Elemente oder durch Anbringung von Nebenschliessungen geschehen.

Wie leicht ersichtlich, wird bei dieser Fehlerbestimmungsmethode der durch die Leitungsfähigkeit des Isolators hervorgebrachte Fehler vollständig eliminirt, wenn die beschädigte Stelle in der Mitte der Leitung oder ihr nahe liegt. Bei einer sehr excentrischen Fehlerlage ist dies zwar nicht vollständig, aber doch annähernd der Fall.

Anstatt wie bei der obigen Methode den schädlichen Einfluss der Veränderlichkeit der physikalischen Eigenschaften der Fehlerstelle dadurch zu beseitigen, dass man die bestimmenden Messungen an beiden Leitungsenden möglichst gleichzeitig ausführt, so dass der Fehler für beide als constant betrachtet werden kann, lässt sich dies auch dadurch erzielen, dass man das elektrische Potential der Fehlerstelle $= 0$ macht.

Wenn man an das eine Ende eines isolirten cylindrischen Leiters den positiven, an den anderen den negativen Pol einer abgeleiteten galvanischen Kette legt, so durchschneidet die Spannungscurve das Kabel in der Mitte, wenn der Leiter homogen und gleichmässig isolirt ist und die Batterien gleiche elektromotorische Kraft haben. Durch Ein- und Ausschaltung von Widerständen zwischen den Batterien und den zugehörigen Kabelenden kann man diesen spannungslosen Punkt im Kabel beliebig verschieben. Ist er derart verschoben, dass er mit der Fehlerstelle zusammenfällt, so geht kein Strom durch den Fehler, er bleibt also ganz ohne Einfluss auf die Stromstärke der Kabelenden und die Form der Spannungscurve.

Wenn im nachstehenden Spannungsschema *AB* das Kabel, *CE* und *DF* gleiche Widerstände, *EA* und *BF* gleiche, aber veränderliche Widerstände bezeichnen, ferner *GJZKH* die Spannungslinie des fehlerfreien Kabels, so wird die Potentialdifferenz *GC* — *JE* vergrössert und dagegen die Spannungsdifferenz *DH* — *FK* verkleinert, wenn ein Fehler bei *M* sich einstellt. Vergrössert nun Station *A* ihren veränderlichen Widerstand *EA* und verkleinert zu gleicher Zeit Station *B* ihren ver-

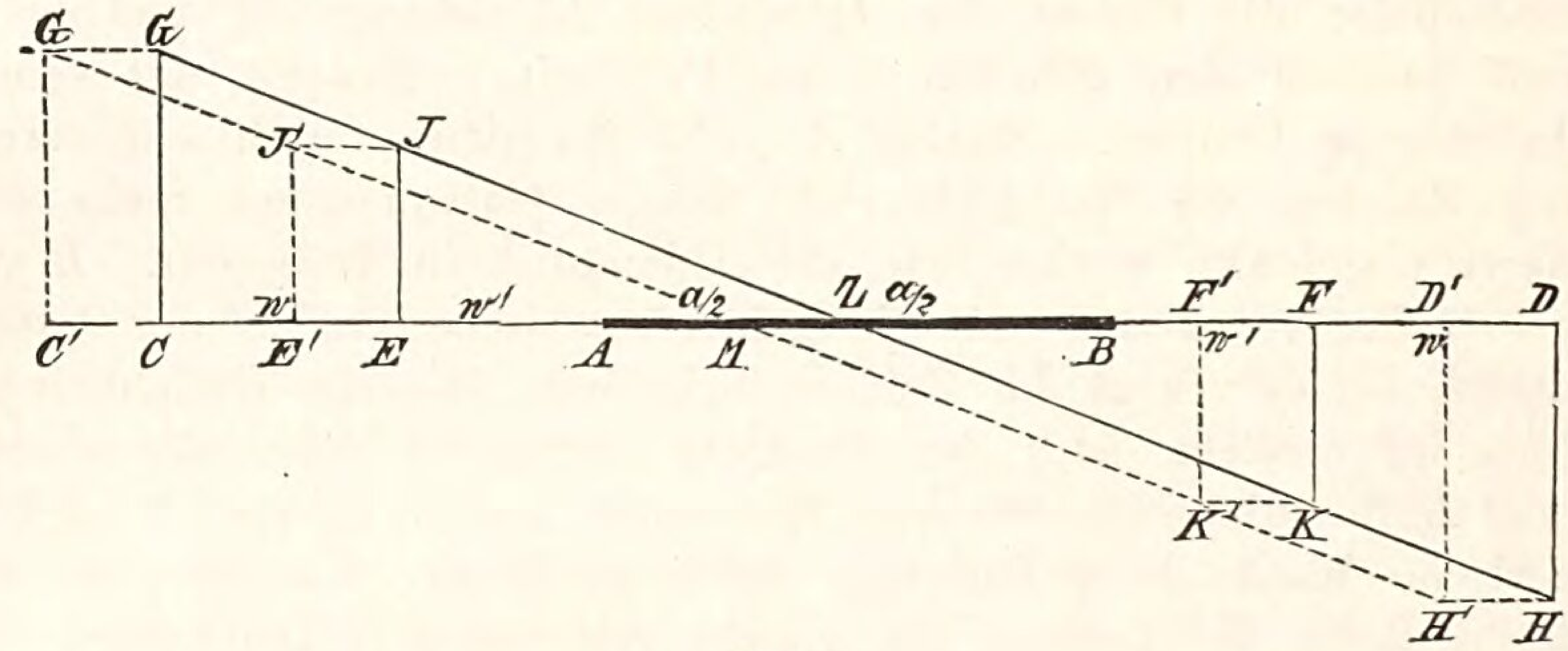


Fig. 32.

änderlichen Widerstand *BF* so lange, bis an beiden Stationen die früher gemessene Potentialdifferenz *GC* — *JE* = *DH* — *FK* wieder hergestellt ist, so bildet die punktirte Linie *G'MH'* die nun bestehende Spannungslinie, und es ist dann der in *A* ein- und in *B* ausgeschaltete Widerstand das Mass der Verschiebung des spannungslosen Punktes im Kabel, also auch das Mass des Abstandes des Fehlers von der Mitte. Ist die Messung richtig ausgeführt, so muss der auf der einen Station ausgeschaltete Widerstand dem auf der anderen eingeschalteten gleich sein.

Die Potentialdifferenz *CG* — *EJ*, resp. *DH* — *FK* kann, wie oben, durch Entladung eines Condensators, dessen Belegungen mit *C* und *E*, resp. mit *D* und *F* verbunden sind oder durch Ablenkung eines empfindlichen Galvanometers, dessen Drahtenden durch sehr grosse Widerstände mit *C* und *E*, resp. mit *D* und *F* verbunden sind, gemessen werden.

Ausser den bisher behandelten Isolationsfehlern, bei welchen angenommen ist, dass der Leiter selbst nicht beschädigt ist und continuirlich von einer Station bis zur anderen geht, kommen auch Fehler anderer Art vor. Es kann der Leiter innerhalb der isolirenden Hülle gebrochen und dadurch die metallische Verbindung unterbrochen, oder es kann auch das ganze Kabel gerissen sein, in welchem Falle fast ohne Ausnahme eine leitende Verbindung der Enden des Leiters mit dem Wasser eintritt. Im ersteren Falle kann die Entfernung von der Bruchstelle durch Messung der Capacität der Leydener Flasche, welche von einem der beiden Stücken des Leiters gebildet wird, und Ver-

gleichung mit der Capacität der Längeneinheit des Leiters leicht bestimmt werden. Es geschieht dies entweder durch directe Ablesung des Ausschlages eines Spiegelgalvanometers durch den Ladungs- resp. Entladungsstrom oder nach dem Vorschlage von de Sauty und Varley dadurch, dass man die Ladung des zu messenden Kabels und des als Mass dienenden Condensators gleichzeitig durch dieselbe galvanische Kette ausführt und die Zweige einer Wheatstone'schen Brückencombination oder eines Differential-Galvanometers mit Hülfe häufig wiederholter Ladungen so regulirt, dass das Galvanometer nicht abgelenkt wird. Das Verhältniss der Brückenzweige giebt dann das Verhältniss der Ladungen.

Diese für kurze Kabel sehr geeigneten Methoden verlieren die nöthige Schärfe, wenn die Kabel sehr lang sind. Einmal vergeht dann zu lange Zeit, bis die Ladung des Kabels vollständig ist, und zweitens müssen die Galvanometer zu unempfindlich gemacht werden, um den Durchfluss der grossen Quantität der in einem langen Kabel angesammelten Elektricität noch mit der nöthigen Schärfe messen zu können. Es gilt dies auch von der de Sauty'schen Differentialmessung, da bei zu empfindlichen Galvanometern der anfänglich sehr viel stärkere Ladungsstrom des Condensators den Magnet des Galvanometers in seinem Sinne fortschleudert, während der langsam verlaufende Kabel-Ladungsstrom ihn später nach der entgegengesetzten Seite treibt.

Es lassen sich diese Mängel der bisher bekannten Methoden dadurch beseitigen, dass man den Entladungsausschlag eines durch eine constante Kette geladenen Condensators von bekannter Capacität bestimmt, darauf denselben Condensator gleichsam als Massflasche zur wiederholten partiellen Entladung des Kabels benutzt und endlich die n te Entladung dieser Massflasche ebenfalls misst. Es sei k die Capacität des Masscondensators, wenn die Einheit der Kabellänge die Einheit der Capacität ist, ferner x die Capacität des ganzen Kabels von der Länge x. Es sei ferner P das Potential, zu welchem das Kabel und der Masscondensator geladen sind, ferner P_1, P_2, P_3, ... Pn die Potentiale des Kabels, resp. des mit ihm verbundenen Condensators nach der ersten, zweiten etc. n ten Entladung des Lezteren. Es seien endlich a und a_n die Entladungsausschläge des Condensators bei der ersten oder n ten Entladung. Es verhalten sich dann:

$$P : P_1 = x + k : x$$

$$P_1 : P_2 = x + k : x$$

$$\cdots\cdots\cdots$$

$$P_{n-1} : P_n = x + k : x$$

mithin

$$P : P_n = (x + k)^n : x^n$$

oder

$$\sqrt[n]{P} : \sqrt[n]{P_n} = x + k : x$$

$$\frac{\sqrt[n]{P} - \sqrt[n]{P_n}}{\sqrt[n]{P_n}} = \frac{k}{x}$$

$$x = \frac{k \cdot \sqrt[n]{P_n}}{\sqrt[n]{P} - \sqrt[n]{P_n}}$$

oder wenn a und a_n die Ausschläge des Galvanometers bezeichnen, welche den durch P und P_n bewirkten Ladungen des Masscondensators entsprechen,

$$x = k \cdot \frac{\sqrt[n]{a_n}}{\sqrt[n]{a} - \sqrt[n]{a_n}}.$$

Weit schwieriger ist die Bestimmung der Entfernung der Bruchstelle eines Kabels, wenn, wie gewöhnlich der Fall ist, das Ende des gerissenen Leitungsdrahtes in leitende Verbindung mit dem Wasser tritt.

Es pflegt der Bruch gewöhnlich so zu geschehen, dass der Leiter und die isolirende Hülle nicht in demselben Querschnitte reissen, so dass entweder ein Stück des Drahtes frei ins Wasser hineinragt, oder dass derselbe nur durch ein enges, unvollkommen mit Wasser gefülltes Rohr mit dem umgebenden Wasser in leitender Verbindung steht. Im ersteren Falle gewähren mit Vorsicht ausgeführte Widerstandsmessungen vom Lande aus in der Regel ein ausreichend genaues Resultat. Hierbei ist ausser der variablen Polarisation der Fehlerstelle jedoch noch der Umstand sehr störend, dass fast ununterbrochen in grösserem oder geringerem Masse sogenannte Erdströme in den Leitungen auftraten. Auch ohne dass des Nachts am Himmel Nordlichterscheinungen sichtbar sind, treten oft solche auf tellurische und kosmische Ursachen zurückzuführende Ströme in Kabeln, deren beide Enden mit dem Wasser in leitender Verbindung sind, auf, welche der elektromotorischen Kraft von 6 bis 8 Daniells entsprechen. Es ist mir gelungen, den nachtheiligen Einfluss dieser Erdströme auf die Messung dadurch zu compensiren, dass ich dem Brückenzweige des Kabels eine Nebenschliessung mit veränderlichem Widerstande und einer ausreichenden elektromotorischen Kraft gab und den Widerstand so gross machte, dass dem Erdstrome gerade das Gleichgewicht gehalten wurde. Es ist dies daraus erkennbar, dass das im Brückendrahte befindliche Galvanometer keinen Strom anzeigt. Ich werde auf die zahlreichen hierbei gemachten Beobachtungen der Erdströme zu einer anderen Zeit zurückkommen. Wenn aber auch die Strömungen der Widerstands-Messungen durch

den Erdstrom in der beschriebenen Weise beseitigt werden können, so geben dieselben doch niemals ein sicheres Resultat, da man nur den Gesammtwiderstand des Kabels und der Fehlerstelle durch sie erhält und nicht weiss, wie gross der Letztere ist. Häufig ist dieser Uebergangswiderstand vom Leiter zum Wasser weit grösser als der zu messende Kabelwiderstand selbst.

Das einzige Mittel, welches bei solchen Kabeln, deren zweites Ende nicht zugänglich ist, zur Aufstellung einer zweiten Gleichung führen kann, um mit Hülfe derselben den Uebergangswiderstand zu eliminiren, ist die Messung der Flaschencapacität des Kabelstücks.

Es sei AB ein Kabelstück von der Länge l, dessen Ende B unisolirt im Wasser liegt. $BD = z$ sei der in Einheiten von l ausgedrückte Widerstand des Ueberganges vom Leiter zum Wasser, $CA = w$ der Widerstand des Galvanometers, durch welchen die Entladung gemessen wird; $AE = P$ bezeichne das Potential, welches dem Endpunkte A des Kabels durch eine zwischen A und die Erde eingeschaltete Batterie gegeben wird, so stellt $ABFE$ die Ladungsfigur des Kabels dar[1]). In der Entfernung x von A ist dann die Ordinate y

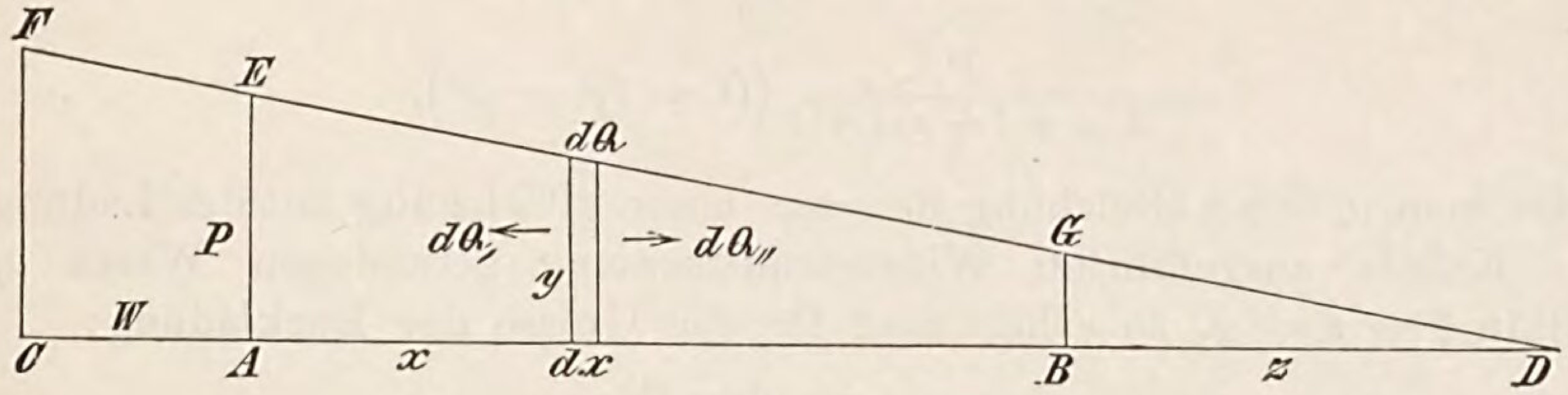


Fig. 33.

das daselbst auftretende Potential. Wird nun die Elektricitätsmenge, welche nach eingetretener Ladung im Kabel stationär geworden ist und welche der Ladungsfläche $AEGB$ entspricht, mit Q bezeichnet, so ist:

$$y \, . \, dx = dQ$$

und

$$\int_0^l y \, dx = Q.$$

Die Elektricitätsmenge $x \, . \, dx = dQ$ wird nun, wenn beide Enden C und D des Leiters in Verbindung mit der Erde stehen und die die Ladung bewirkt habende elektromotorische Kraft P in A entfernt ist, nach beiden Seiten hin abfliessen. Es werde mit $dQ_{,}$ derjenige Theil von dQ bezeichnet, welcher durch A und C zur Erde zurückfliesst, während $dQ_{,,}$ den Theil bezeichne, der durch B und D zur Erde geht.

[1]) Pogg. Ann. Bd. 79, S. 499.

Diese Quantitäten müssen sich umgekehrt wie die von ihnen zu durchlaufenden Widerstände verhalten. Es ist also:

$$dQ_{,} : dQ_{,,} = l + z - x : x + w$$

oder in

$$dQ_{,} + dQ_{,,} = dQ$$

ist

$$dQ_{,} = \frac{y \, . \, dx \, (l + z - x)}{w + l + z}.$$

Da nun ferner

$$y : P = l - x + z : l + z,$$

also

$$y = P \cdot \frac{l + z - x}{l + z}$$

ist, so ist

$$dQ_{,} = P \cdot \frac{(l + z - x)^2}{(w + l + z)\,(l + z)} \cdot dx$$

oder

$$Q_{,} = \frac{P}{(w + l + z)\,(l + z)} \cdot \int_0^l (l + z - x)^2 \, dx$$

$$= \frac{P}{3\,(w + l + z)\, l + z} \left((l + z)^3 - z^3\right).$$

Setzt man in diese Gleichung den aus einer gleichzeitig mit der Ladung des Kabels ausgeführten Widerstandsmessung gefundenen Werth a, mithin $l + z = a$, so erhält man für die Grösse der Rückladung:

$$Q_{,} = P \cdot \frac{a^3 - z^3}{3\,(w + a)\, a}$$

und hieraus

$$z = \sqrt[3]{a^3 - \frac{3\, Q_{,}\, (w + a)\, a}{P}}.$$

Oder da $P \, . \, l = 2\, Q$ die Ladungsgrösse des ganzen isolirten fehlerfreien Kabels ist, mithin P gleich der Ladungsgrösse q der isolirten Kabeleinheit zu setzen ist,

$$z = \sqrt[3]{a^3 - \frac{Q_{,}}{q} \cdot 3\,(w + a)\, a}\,.$$

Da $l = a - z$ durch die gleichzeitig ausgeführte Widerstandsmessung bekannt ist, so ist hierdurch auch die Länge des zerrissenen Kabels l gegeben.

Ist der Uebergangswiderstand $z = 0$ mithin auch $a = l$, so folgt aus der obigen Gleichung für z:

$$l \, . \, q = 3\, Q_1, \quad Q_1 = \frac{l \, . \, q}{3} = \frac{2Q}{3};$$

das heisst also: wird ein am entfernten Ende ohne Widerstand zur Erde abgeleitetes geladenes Kabel widerstandslos mit Erde verbunden, so fliessen $\frac{2}{3}$ der im Kabel vorhandenen Ladung zur ladenden Station zurück, während $\frac{1}{3}$ derselben am entfernten Ende zur Erde geht.

Selbstverständlich darf zwischen der Ausschaltung der Batterie und der Einschaltung des zur Erde abgeleiteten Galvanometers nicht der geringste Zeitverlust eintreten, da sonst während der Isolation des Ladungsendes ein ansehnlicher Theil der Elektricität durch das andere Ende zur Erde geht, die gemessene Rückladung also zu klein ausfällt. Wird die Umschaltung aber so eingerichtet, dass sie in demselben Momente vor sich geht, wie Helmholtz dies bereits im Jahre 1851 ausführte, so giebt die Methode bei nicht zu langen Leitungen sehr übereinstimmende und genaue Resultate. Sind die zu untersuchenden Leitungen aber sehr lang, so tritt die Verzögerung des Stromes in Folge der Ladung störend auf. Es bedarf die aufgestellte Formel daher für diesen Fall noch einer Correctur für die Verzögerung (retardation) des Stromes, deren Entwickelung mir bisher nicht gelungen ist.

Ueber den

Einfluss der Beleuchtung auf die Leitungsfähigkeit des krystallinischen Selens.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 13. Mai.)

1875.

Die von Willoughby Smith zuerst beschriebene und von Sale[1]) näher untersuchte Eigenschaft des krystallinischen Selens, im beleuchteten Zustande die Elektricität besser zu leiten als im Dunkeln, habe ich näher untersucht und die Richtigkeit der Thatsache constatirt. Die specifische Leitungsfähigkeit des durch Erhitzung auf 100 bis 150° C. krystallinisch gemachten Selens ist jedoch sehr gering und ausserordentlich veränderlich und auch die Vergrösserung der Leitungsfähigkeit durch Beleuchtung ist sehr inconstant, so dass es unmöglich war, eine bestimmte Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Beleuchtung festzustellen. Es gelang mir aber durch andauernde Erhitzung des amorphen Selens bis zur Temperatur von 210° C., sowie auch durch Abkühlung des geschmolzenen Selens zur Temperatur von 210°, bei welcher Temperatur das Selen bei längerer Dauer derselben in einen grobkörnig-krystallinischen Zustand übergeht, eine andere Modification des krystallinischen Selens darzustellen, welche eine bedeutend grössere Leitungsfähigkeit hat, dieselbe dauernd beibehält und die Elektricität metallisch leitet, so dass die Leitungsfähigkeit mit Erhöhung der Temperatur abnimmt. Auch die Einwirkung des Lichtes auf diese Modification krystallinischen Selens ist weit grösser und scheinbar völlig constant. Durch Einschmelzung zweier flacher Drahtspiralen, im Abstande von ca. 1 mm von einander, zwischen zwei Glimmerblättern in grobkrystallinisches Selen ist es mir gelungen, einen ausserordentlich empfindlichen Lichtmesser herzustellen. Dunkle Wärmestrahlen sind bei demselben ohne directen Einfluss auf die Leitungsfähigkeit, und Erwärmung des Selens vermindert dieselbe.

[1]) Proceed. of the Roy. Soc. Vol. XXI, pag. 283. — Pogg. Ann. Bd. 150, S. 333.

Diffuses Tageslicht verdoppelt schon seine Leitungsfähigkeit und directes Sonnenlicht erhöht sie unter Umständen auf mehr als das Zehnfache. Die Vermehrung der Leitungsfähigkeit des grobkörnigen Selens durch Beleuchtung geht ausserordentlich schnell vor sich. Ebenso tritt die Verminderung derselben bei Absperrung des Lichtes scheinbar momentan ein, doch vergeht längere Zeit, bis der der Dunkelheit entsprechende Zustand wieder vollständig hergestellt ist. Die Zunahme der Leitungsfähigkeit ist nicht proportional der Lichtstärke, sondern eine Function derselben, welche sich näher dem Verhältniss der Quadratwurzeln der Lichtstärken anschliesst.

Ich behalte mir vor, der Akademie über diese interessante Eigenschaft des Selens ausführlichere Mittheilungen nach Abschluss meiner Versuche zu machen, und bemerke nur noch, dass ich hoffe, dieselbe zur Construction eines zuverlässigen Photometers verwerthen zu können.

Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in suspendirten Drähten.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 6. Dec.)

1875.

Das andauernde Frostwetter des letzten Winters und das freundliche Entgegenkommen der Verwaltung der Niederschlesisch-Märkischen Eisenbahn und namentlich ihres Telegraphen-Inspectors, des Herrn Wehrhahn, machten es mir möglich, einen schon im Jahre 1845 von mir gemachten Vorschlag zur directen Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität[1]) in Ausführung zu bringen. Leider verhinderte das während der Versuche eintretende Thauwetter die vollständige Durchführung derselben, doch erscheinen die erhaltenen Resultate schon wichtig genug, um ihre Mittheilung vor völligem Abschlusse dieser Arbeit zu rechtfertigen.

Die von mir hierbei zur Anwendung gebrachte Methode weicht in einigen wesentlichen Punkten von meinem früheren Vorschlage ab. Nach diesem bedurfte es zur Ausführung der Messung zweier von einander und vom Erdboden isolirter, gleichmässig rotirender Stahlcylinder und zweier Doppelleitungen, von denen die eine die beiden Cylinder, die andere zwei isolirte Spitzen leitend verband, welche den Peripherien der Cylinder nahe gegenüber standen. Entlud man eine Leydener Flasche zwischen einer Spitze und dem ihr zugehörigen Drahtende, so musste der Entladungsstrom den ganzen Leitungskreis durchlaufen und auf dem Mantel jedes der beiden Stahlcylinder eine Funkenmarke zurücklassen. Die Differenz der Abstände dieser während der Rotation der Cylinder erzeugten Marken von den in gleicher Weise bei ruhenden Cylindern hervorgebrachten war dann das Mass der Zeit, welche die Elektricität zum Durchlaufen des halben Kreislaufes gebrauchte.

[1]) Pogg. Ann. Bd. 66, S. 435.

Der Ausführung dieses Planes standen erhebliche Schwierigkeiten im Wege. Diese bestanden einmal in der Schwierigkeit, 4 gleich lange, von demselben Orte ausgehende, hinlänglich gut isolirte Leitungen zu beschaffen, hauptsächlich aber in der mechanischen Aufgabe, zwei von einander und vom Erdboden völlig isolirte Stahlcylinder so leicht herzustellen und so vollkommen zu centriren, dass ihnen die nöthige Umdrehungsgeschwindigkeit von 100 bis 150 Umdrehungen in der Secunde gegeben werden konnte. Ich wandte daher eine veränderte Methode an, bei welcher nur Ein nicht isolirter Stahlcylinder und nur Eine Doppelleitung erforderlich war.

Sie beruht auf der Anwendung zweier Leydener Flaschen oder Ladungstafeln, von denen die innere Belegung der einen direct durch einen kurzen Draht, die der anderen durch die lange Kreisleitung mit der dem rotirenden, zur Erde abgeleiteten Cylinder nahe gegenüberstehenden Spitze verbunden ist. Die äusseren, isolirten Belegungen der Flaschen sind metallisch verbunden. Werden sie zur Erde abgeleitet, so wird in demselben Momente die Elektricität der inneren Belegung beider Flaschen frei und entladet sich durch die Spitze und den rotirenden Cylinder zur Erde. Ist die Rotation hinlänglich geschwind und die Leitung lang genug, so entstehen auf dem Cylinder zwei räumlich getrennte Marken, deren Abstand das Mass der Zeit ist, welche die Elektricität zum Durchlaufen der Drahtleitung von der Flasche zur Spitze gebrauchte.

Ich modificirte diese Anordnung auch in der Weise, dass ich anstatt einer Spitze deren zwei dem Cylindermantel gegenüberstellte und die eine Spitze direct mit der einen, die andere durch die Leitung mit der anderen Flasche verband. Die Spitzen wurden möglichst nahe nebeneinander gestellt, so dass die gleichzeitig von beiden bei ruhendem Cylinder hervorgebrachten Marken dicht beisammen und möglichst in einer mit der Axe parallelen Ebene lagen. Es wurde dann zuerst eine Entladung der Flaschen bei ruhendem Cylinder und darauf erst die zur Messung dienende Entladung bei rotirendem Cylinder gemacht. Der Apparat selbst war derselbe, den ich zur Messung der Geschwindigkeit der Geschosse im Geschütz- oder Gewehrlaufe benutze und an anderen Orten beschrieben habe. Der Stahlcylinder ist möglichst leicht aus einem massiven Stahlcylinder ausgedreht. Er hat einen Durchmesser von 40 mm und eine Seitenhöhe von 10 mm. Seine Stahlaxe ist mit einem Gewinde versehen, in welches die Zähne eines Steigrades eingreifen. Dies wird durch ein kräftiges Laufwerk mit Gewichtsbetrieb gleichmässig gedreht. Die Geschwindigkeit der Drehung des Cylinders lässt sich durch einen ebenfalls anderweitig beschriebenen Regulator während der Rotation beliebig innerhalb weiter Grenzen abändern. Das mit 100 Zähnen versehene Steigrad trägt eine kleine Nase, durch welche nach jeder Umdrehung ein leichter Hammer ge-

hoben wird, der an eine kleine Glocke schlägt. Wenn der Regulator so eingestellt ist, dass die Glockenschläge mit den Pendelschlägen eines Secundenpendels genau zusammenfallen, so rotirt der Cylinder genau 100 mal in der Secunde. Dem Cylindermantel gegenüber ist eine kleine Lupe mit Fadenkreuz befestigt, welche zur Ablesung des Winkelabstandes der Funkenmarken dient.

Im Zustande der Ruhe kann durch Bewegung eines Hebels eine Schraube ohne Ende mit geschnittenem Kopfe mit dem Cylinder in Eingriff gebracht werden, durch welche dieser so lange langsam gedreht werden kann, bis der Faden der Lupe durch die Mitte der Funkenmarke geht. Es können auf diese Weise Millionstel Secunden noch genau abgelesen und 10 Millionstel geschätzt werden.

Die dem Cylindermantel gegenüberstehende leitende Spitze besteht aus einem dünnen Glasrohre, in welches ein möglichst feiner Platindraht eingeschmolzen ist. Nachdem dies Glasrohr in ein Metallrohr mit Schraubengewinde eingefuttert und das dem Cylindermantel gegenüberstehende Ende desselben sorgfältig halbkugelförmig abgeschliffen ist, wird es so nahe wie möglich an den rotirenden Cylinder herangeschraubt.

Durch die Glashülle, welche den Platindraht bis zu seinem äussersten Ende umgiebt, soll verhindert werden, dass Funken eine seitliche Richtung einschlagen. Sehr schwache Funken hinterlassen auf einer polirten Stahlfläche einen einzelnen hellglänzenden Punkt, stärkere ein Bündel von Funken, auf dessen Mitte das Fadenkreuz eingestellt werden muss. Um das Auffinden der Funkenmarken zu erleichtern, wird der Cylinder vor dem Gebrauche in bekannter Weise berusst. Es ist dann jede, auch die schwächste und mit blossem Auge kaum sichtbare Funkenmarke mit einem deutlichen ringförmigen Hofe umgeben, der es ermöglicht, sie leicht in das Gesichtsfeld des Mikroskopes zu bringen. Anstatt der Leydener Flaschen benutzte ich in der Regel Ladungstafeln aus mit Stanniol belegten Glimmerblättern. Dieselben wurden sorgfältig in eine Harzmasse eingeschmolzen, so dass sie im Stande waren, die angenommene Ladung längere Zeit ohne merkliche Schwächung festzuhalten. Sie waren mit einem Umschalter versehen, welcher gestattete, sie getrennt von der Spitze (oder den beiden Spitzen, wenn deren 2 benutzt wurden) gleichzeitig durch eine Holz'sche Maschine zu laden und dann im letzten Momente vor dem Versuche die bis dahin mit Erde verbundenen Belegungen mit der oder den respectiven Spitzen zu verbinden, während die leitend verbundenen anderen Belegungen in einem mit Guttapercha isolirten Drahte endeten. Die Entladung wurde dann dadurch bewirkt, dass ein mit der Erde leitend verbundenes Messer mittelst eines kräftigen Hammerschlages durch den isolirten Draht getrieben und dadurch eine kurze, aber möglichst widerstandslose Ableitung der verbundenen Belegungen

zur Erde herbeigeführt wurde. Auf diese Weise gelang es, die anfänglich sehr störenden, durch langsame Entladung der Ladungstafeln hervorgerufenen, falschen Entladungsmarken auf dem Cylinder völlig zu beseitigen.

Mit dem so vorbereiteten Apparate wurden nun fürs Erste im Zimmer eine Reihe von Versuchen angestellt. Es wurde constatirt, dass die Entladung einer Flasche in einem Entladungskreise von geringem Widerstande so schnell verläuft, dass das Markenbündel auf dem rotirenden Cylinder nicht wesentlich verschieden von dem auf ruhendem Cylinder erzeugten ist. Vereinzelte Funkenmarken, die sich fast immer ohne Regelmässigkeit auf der Cylinderfläche finden, sind offenbar dem sogenannten Residuum der Ladungstafeln zuzuschreiben. Die Erscheinung ändert sich, wenn die Entladung durch sehr grosse Widerstände stattfindet. In diesem Falle bildet sich auf dem Cylinder eine continuirliche Reihe von Funkenmarken, niemals aber ein homogener Strich, welcher einem eine messbare Zeit andauernden elektrischen Strome entsprechen würde. Es ist aber hieraus nicht zu schliessen, dass die Gesammtentladung auch in diesem Falle aus einer Reihe von Partialentladungen von unmessbar kurzer Dauer besteht. Denkt man sich im Gegentheil, die Entladung bestände aus einem continuirlichen Strome von abnehmender Stärke, der Funke wäre mithin als andauernder Davy'scher Lichtbogen aufzufassen, so lässt sich dennoch dies Auftreten einer Reihe von räumlich getrennten Funkenmarken erklären.

Durch den rotirenden Cylindermantel werden nämlich die nächsten Luftschichten mit fortgerissen und zwar um so vollständiger, je näher die Luftschicht der rotirenden Cylinderfläche ist. Nimmt man nun an, der Beginn der Entladung hätte die mit dem Cylinder rotirende Luftschicht zwischen der Spitze und dem Cylinder durchbrochen, also einen glühenden, gut leitenden Kanal zwischen Spitze und Cylinder hergestellt, so wird dieser Kanal durch die Rotation mit fortgeführt. Findet nun ein continuirlicher Nachschub von Elektricität von der Spitze aus statt, so wird der Kanal von dieser aus continuirlich verlängert, da er trotz grösserer Länge der Elektricität geringern Widerstand darbietet, wie die undurchbrochene kalte Luft, die sich zwischen Spitze und Cylinderwand eingeschoben hat. Hat diese Entladungsstrasse jedoch eine gewisse Länge erreicht, so wird ihr Widerstand grösser wie der der kalten Luft zwischen Spitze und Cylinder; es findet ein neuer Durchbruch und damit die Bildung einer neuen Funkenmarke und Entladungsstrasse statt.

Die Entladung einer Flasche durch ein mit Wasser gefülltes Kautschukrohr oder durch eine nasse Schnur gab eine, wie es schien, vielfach um den ganzen Cylinder herumgehende Serie von feinen Funkenmarken; es war aber kein Zeitverlust für den Beginn der Ent-

ladungen zu constatiren. Da es mir aus manchen Gründen, namentlich auch in Folge der von Fizeau und Gounelle erhaltenen Resultate, als wahrscheinlich erschien, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität der specifischen Leitungsfähigkeit der Materie proportional sein müsse, so wiederholte ich diesen Versuch mit einem 100 Fuss langen, 20 mm im Lichten starken Kautschukrohre, welches mit Zinkvitriollösung gefüllt war. Zu meiner grossen Ueberraschung war aber auch hier keine Zeitdifferenz zwischen der directen Entladungsmarke und der Marke der ersten Partialentladung durch das 100 Fuss lange Flüssigkeitsrohr aufzufinden. Da eine Differenz von 5 Millionstel Secunde noch sicher zu erkennen gewesen wäre, so ist hierdurch constatirt, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Flüssigkeiten über 800 geogr. Meilen per Secunde betragen muss.

Da nun die Leitungsfähigkeit des Kupfers mindestens 200 Millionen mal grösser ist als die der Zinkvitriollösung, so müsste die Geschwindigkeit der Elektricität im Kupfer mindestens 160 000 Millionen Meilen betragen, wenn die specifische Leitungsfähigkeit mit Geschwindigkeit der Elektricität gleichbedeutend wäre.

Dass elektrolytische Leiter der Elektricität schneller als Metalle von gleicher Leitungsfähigkeit leiten sollten, wird kaum angenommen werden können; es ist das Gegentheil wahrscheinlicher, da angenommen werden muss, dass bei der elektrolytischen Leitung Molecularbewegungen stattfinden.

Bei den mit längeren Telegraphenleitungen auszuführenden Versuchen sollte nun die Frage entschieden werden, ob der Elektricität wie dem Lichte eine bestimmte messbare Fortpflanzungsgeschwindigkeit zuzuschreiben ist, oder ob die von verschiedenen Beobachtern gemessenen Verzögerungswerthe ganz oder doch zum grossen Theile der Verzögerung der Stromerscheinung am entfernten Leitungsende durch Flaschenladung des Drahtes zuzuschreiben sind. Zu dem Ende sollten die Versuche kurz nach einander mit möglichst verschiedenen Drahtlängen angestellt und jedesmal die Flaschencapacität dieser Drahtlänge gemessen werden.

Die ersten Versuche fanden am 23. Februar dieses Jahres in Köpenick statt, wohin Herr Dr. Frölich, der die nachfolgenden Messungen sowohl hier wie später in Sagan mit gewohnter Geschicklichkeit und Sorgfalt ausgeführt hat, schon vorher mit den Apparaten gegangen war.

Zunächst wurde durch eine Reihe von Versuchen constatirt, dass die Isolation der Leitung bei dem obwaltenden milden Frostwetter ausreichte, um den Entladungsfunken durch die ganze, nach dem 12,68 km entfernten Erkner und zurück führende Telegraphenleitung (aus 5 mm dickem Eisendrahte) hindurch zum rotirenden Cylinder zu leiten.

Die Versuche wurden mit 2 Spitzen gemacht, d. h. also, es wurde

die eine (kleinere) Flasche direct durch die eine Spitze, die zweite beträchtlich grössere Flasche durch die Leitung und die andere Spitze entladen. Es wurden 7 Entladungen gemacht. Die am folgenden Tage gemachten Ablesungen ergaben

122,8
111,7
125,3
142,7
117,6
121,8
134,3

im Mittel 125,2 Millionstel Sec.

Da die hin- und zurückgehende Leitung 2 . 12,68 = 25,36 Kilometer betrug, so ergiebt dies eine Geschwindigkeit von 202 600 km oder 27 300 geogr. Meilen in der Secunde. Es stellte sich hierbei heraus, dass der durch die eine Spitze gehende, directe Entladungsfunke der kleinen Flasche stets einen kleinen Büschel von Funkenmarken bildete, umgeben von einem grösseren concentrischen Hofe, innerhalb dessen der Russ fortgeschleudert war, während durch die zweite Spitze eine Serie von kleineren Funkenmarken gebildet wurde, die von keinem oder doch nur einem sehr schwachen Hofe umgeben waren.

Häufig war in der Linie der letzten Spitze, genau gegenüber der Local-Entladungsmarke, ebenfalls ein schwacher Punkt sichtbar. Derselbe war entweder Folge einer Rück- oder Seitenentladung vom Cylinder auf die benachbarte Spitze, oder wahrscheinlicher eine Influenzwirkung zwischen den zunächst dem Cylinder liegenden Theilen der an denselben Stangen befestigten hin- und rückkehrenden Leitung. Im Allgemeinen war die Localentladung weit stärker wie nothwendig, was den Nachtheil mit sich führte, dass der erste Linienentladungspunkt häufig noch in den Hof der Localentladung fiel und dadurch schwer zu erkennen war.

Durch eintretendes Thauwetter, bei welchem die Isolation der Telegraphenlinien für Fortleitung von Reibungselektricität nicht genügend ist, wurden die weiteren beabsichtigten Versuche für längere Zeit verhindert. Als später wieder Frostwetter eintrat, wurden uns von Herrn Wehrhahn die von der Station Sagan ausgehenden Doppellinien nach Malmitz und einem zwischen Sagan und Malmitz liegenden Streckenblock zur Verfügung gestellt. Es gelang Herrn Dr. Frölich, der sich mit den Apparaten nach Sagan begab, zwei werthvolle Beobachtungsreihen zu machen. Sie wurden zum Theil mit zwei, zum Theil mit einer Spitze gemacht. Es trat bei diesen Versuchen der Doppelpunkt stets auf, und Herr Dr. Frölich überzeugte sich durch eine Reihe von Controlversuchen, dass dieser Doppel- oder vielmehr Anfangspunkt eine

locale Ursache hatte und nicht von Elektricität herrühren konnte, welche die ganze Leitung durchlaufen hatte. Die Linien-Entladungen bildeten hier einen ziemlich langen Schweif von 6 bis 8 Punkten, deren Abstand von einander anfangs etwa 30, am Ende 15 bis 20 Millionstel Secunden betrug und dem häufig ein kurzer Strich ohne deutliche Punkte folgte. Es harmonirt dies recht gut mit der obigen Erklärung des Auftretens von Entladungspunkten bei continuirlicher Entladung. Je stärker der Entladungsstrom ist, desto länger erhält sich der Entladungskanal auf der Peripherie des rotirenden Cylinders, desto weiter müssen also auch die Punkte auseinander liegen. Ist die Entladung nahe vollendet, so sind Stromstärke und Wärmeentwickelung so schwach, dass sich gar kein Entladungskanal mehr erhalten kann, die Punktreihe mithin in einen schwachen Strich übergeht.

Es wurde zuerst die Doppellinie von Sagan bis zum 11,686 km entfernten Malmitz benutzt. Die Ablesung von 22 Entladungen ergab

100,4	88,7	108,7	104,2
102,7	103,6	101,1	104,2
91,2	95,6	108,3	107,3
100,8	97,5	102,0	110,3
100,6	100,5	104,2	
91,4	104,7	102,6	

im Mittel 101,4 Millionstel Secunden. Da der durchlaufene Weg 2 . 11,686 km = 23,372 km lang war, so war die Geschwindigkeit 230 500 km = 31 060 geogr. Meilen.

Die demnächst eingeschaltete 3,676 km lange Doppellinie Sagan-Streckenblock ergab bei 12 Entladungen:

39,4	23,0
41,9	25,9
27,8	30,5
27,0	22,1
35,6	28,9
28,4	34,8

im Mittel 30,4 Millionstel Secunden. Es ergiebt dies eine Geschwindigkeit von 241 800 km = 32 590 geogr. Meilen.

Eine demnächst angestellte Serie von 13 Entladungen mit einer Spitze, welcher Dr. Frölich weniger Zutrauen schenkt, da die Regulirung des Laufwerks weniger sorgfältig ausgeführt war, gab

87,8	78,2	80,8
76,4	96,3	96,3
84,5	93,1	93,5
93,2	85,5	101,2
		117,9

im Mittel 91,1 Millionstel Secunden, mithin eine Geschwindigkeit von 256 600 km oder 34 580 geogr. Meilen.

Wenn diese Messungen auch noch nicht den Grad von Uebereinstimmung ergeben, der von der Methode zu erwarten ist, und der auch bei einer Wiederholung der Versuche unter günstigen Umständen erzielt werden wird, so ergeben sie doch zur Evidenz, dass die Fortbewegung der Elektricität in Leitern mit einer bestimmten, von der Länge der Leiter nicht abhängigen Geschwindigkeit geschieht, die in Eisendrähten zwischen 30 000 und 35 000 Meilen per Secunde liegt. Ich neigte mich vor diesen Versuchen in Folge der mit dem Kautschukrohre erhaltenen Resultate der Ansicht zu, dass die wirkliche Geschwindigkeit der Elektricität unmessbar gross sei und dass die durch Wheatstone (Pogg. Ann. Bd. 34, S. 464), Fizeau und Andere gefundenen Verzögerungen gänzlich auf Flaschenwirkung der oberirdischen Leitungen begründet wären.

Wenn dem so wäre, so müsste die fast 3 mal so lange Leitung Sagan-Malmitz eine ca. 9 mal grössere Verzögerung ergeben haben wie die Leitung Sagan-Streckenblock, während die Geschwindigkeit nach den unter gleichen Bedingungen angestellten Versuchen mit Doppelspitzen sich wie 31 : 32,6 verhielt. Doch abgesehen von diesen, dem quadratischen Verzögerungsgesetze widersprechenden Zahlen ist die Verzögerung überhaupt viel zu gross, um durch Ladungsverzögerung erklärt werden zu können. Die Flaschencapacität der beiden Leitungen wurde von Herrn Dr. Frölich mit der continuirlichen Wippe nach der früher von mir zur Ermittelung der Ladungsgesetze benutzten Methode[1]) gemessen. Die Messung ergab:

Für Sagan-Malmitz		m. f.
Galvanometer	im Ladungskreise	0,181
	im Entladungskreise	0,120
	im Mittel	0,1505
Für Sagan-Streckenblock		
Galvanometer	im Ladungskreise	0,066
	im Entladungskreise	0,061
	im Mittel	0,0635

was im Mittel eine Flaschencapacität der oberirdischen Leitung von 5 mm Drahtstärke von 0,053 m. f. pro Meile ergiebt.

Als Einheit der Capacität ist das in der Kabeltechnik eingeführte, aus der Weber'schen absoluten Einheit der Elektricitätsmenge abgeleitete sogen. Mikrofarad (m. f.) angenommen.

Zur directen Vergleichung der gemessenen Verzögerungswerthe mit denjenigen, welche sich als Folge der Ladung der Drähte herausstellen müssen, können die Verzögerungsmessungen dienen, welche Herr Dr. Obach mit Hülfe eines künstlichen Kabels, d. h. einer Serie

[1]) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 66.

von 32 Condensern à ca. 20 m. f., die durch Widerstände von je 550 E. untereinander verbunden waren, in meinem Laboratorium angestellt hat.

Die Messungen geschahen mit meinem ungemein empfindlichen elektrodynamischen (eisenfreien) Relais und einem chemischen Schreibtelegraphen mit Doppelnadel.

1. 32 Abtheilungen des Kabelschrankes wurden eingeschaltet. Sie repräsentirten einen Widerstand von 17 600 Q. E. = W und eine Capacität von 639,6 m. f. = C. Es ergab sich eine Verzögerung von 0,72 Sec., also pro Million des Productes Widerstand × Capacität (W . C) von 0,0640 Sec.
2. 24 Abtheilungen eingeschaltet
 W = 13200 Q. E.
 C = 483,9 m. f.
 ergaben Verzögerung 0,45 Sec.
 pro Million W . C 0,0715
3. 16 Abtheilungen
 W = 8800 Q. E.
 C = 319,6 m. f.
 ergaben Verzögerung 0,22 Sec.
 pro Million W . C 0,078.

Es giebt dies im Mittel eine Verzögerung für 1 Million W . C von 0,0712 Sec.

Die Leitung Sagan-Malmitz und zurück hat nach der von Hrn. Dr. Frölich ausgeführten Messung

eine Capacität C = 0,151 m. f.
Widerstand W = 189,0 Q. E.
mithin W . C = 28,5;

hiernach könnte durch die Flaschenladung, unter Annahme des quadratischen Gesetzes, nur eine Verzögerung von 2,0 Millionstel Secunden herbeigeführt sein, während sie für die Linie Sagan-Streckenblock nur 0,3 Millionstel Secunden betragen könnte.

Zieht man nun auch in Betracht, dass diese Verzögerungszeiten wesentlich grösser ausfallen mussten, wie bei den Kabelmessungen, weil längere Zeit verging, bis das elektrische Potential der funkengebenden Spitze so gross war, dass der Funke zum Cylinder überspringen konnte, so ist es doch evident, dass z. B. die auf der Strecke Sagan-Streckenblock gemessene Verzögerung von 30,4 Millionstel Secunden anderen Ursprungs sein muss, als die auf 0,3 Millionstel Secunden berechnete Flaschenverzögerung.

Ich hoffe, im Laufe dieses Winters Gelegenheit zu finden, nicht nur die obigen Versuche unter besseren Verhältnissen und mit verbesserten Vorrichtungen wiederholen, sondern sie auch auf eine Kupferleitung ausdehnen zu können, um durch directe Messungen die Frage

zu entscheiden, ob die Geschwindigkeit der Elektricität von der Natur des metallischen Leiters abhängt oder nicht. Nach den mit dem mit Zinkvitriollösung gefüllten Kautschukrohre angestellten Versuchen erscheint mir Letzteres wahrscheinlich. Kirchhoff hat unter Zugrundelegung des Weber'schen Fundamentalgesetzes für die Bewegung der Elektricität die Zahl 41 000 Meilen für die Geschwindigkeit der Elektricität in Leitern durch Rechnung gefunden und ist dabei zu dem Resultat gekommen, dass diese Geschwindigkeit gleich gross in allen Leitern sein müsse. Unsere Messungen schliessen sich dem Kirchhoff'schen Werthe wenigstens weit näher an, wie dem von Wheatstone aus dem Zurückbleiben des mittleren Funkens geschätzten von 61 900 geogr. Meilen.

Fizeau und Gounelle haben mit Hülfe ihrer Differentialmessmethode für galvanische Ströme in Telegraphenleitungen für Kupfer 177 792 km, für Eisen 101 710 km gefunden, für Eisen also nur eine etwa halb so grosse Geschwindigkeit wie unsere Messungen ergeben haben.

Noch weit geringere Geschwindigkeitswerthe haben Walker, Mitchell und Gould auf amerikanischen Telegraphenlinien mit elektromagnetischen Registrirapparaten gefunden, Letzterer sogar nur 12 851 englische Meilen. Auf diese Messungen ist kein grosses Gewicht zu legen, da die Trägheit der elektromagnetischen Instrumente zu gross und ungleich für die Messung so kleiner Zeittheile ist. Von weit grösserem Gewichte erscheinen die Messungen von Fizeau und Gounelle. Dieselben haben auf den verzögernden Einfluss der Ladung, auf den ich erst nach Anstellung ihrer Versuche aufmerksam machte, keine Rücksicht nehmen können, und es fehlen in der Beschreibung ihrer Versuche auch die nöthigen Data, um die Ladungs-Verzögerung nachträglich berechnen zu können. Wenn aber auch die Ladungsverzögerung der verhältnissmässig grossen Länge ihrer Leitung wegen (ca. 300 km) über 1000 mal grösser wie bei meinen Versuchen sein müsste, so reicht sie doch zur Erklärung der Differenz noch nicht aus. Ich glaube daher, dass auch die von Fizeau gefundene Verschiedenheit der Geschwindigkeit der Elektricität in Eisen und Kupfer noch nicht als constatirt anzusehen ist.

Ueber die

Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit des Selens von Wärme und Licht.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 17. Febr.)

1876.

Das von Berzelius 1817 entdeckte Selen steht wie das Tellur auf der Grenze zwischen den Metallen und Metalloiden und hat sowohl chemische wie physikalische Eigenschaften beider Klassen von Körpern.

Die physikalischen Eigenschaften des Selens sind namentlich von Hittorf[1]) in seiner Abhandlung über die Allotropie des Selens untersucht. Er fand, dass es bei 217° C. schmilzt, dass es bei der Abkühlung bis weit unter seinen Schmelzpunkt flüssig bleibt, dass es bei weiterer schneller Abkühlung zu einer glasigen, amorphen, die Elektricität nicht leitenden Masse von etwas grünlichem Ansehen vom specifischen Gewichte 4,276 erstarrt, ohne seine latente Schmelzwärme abzugeben. Wird dies amorphe Selen wieder erhitzt, so beginnt bereits bei 80° C. eine Umwandlung desselben. Es bekommt ein weisses, metallisches Ansehen, ein feinkörniges, krystallinisches Gefüge, verdichtet sich zum specifischen Gewichte 4,796[2]) und entbindet dabei eine so bedeutende Wärmemenge, dass es sich in grösseren Mengen bis zu seinem Schmelzpunkte erhitzt. Es leitet in diesem krystallinischen Zustande die Elektricität wie die Kohle, das Tellur und die Elektrolyten, indem seine Leitungsfähigkeit mit steigender Temperatur zunimmt. In der Nähe des Schmelzpunktes ist diese Leitungsfähigkeit im Verhältniss zu seiner Leitungsfähigkeit bei der Lufttemperatur sehr bedeutend. Wird die Schmelztemperatur überschritten, so sinkt die

[1]) Pogg. Ann. Bd. 84, S. 214.

[2]) Rammelsberg hat neuerdings das sp. Gewicht des amorphen Selen auf 4,28, das des krystallinischen auf 4,8 resp. 4,5 bestimmt.

Leitungsfähigkeit mit Aufnahme der latenten Wärme beträchtlich, doch leitet es auch im geschmolzenen Zustande die Elektricität.

Durch die Beobachtung des Superintendent May der Valentia-Kabelstation, dass die Leitungsfähigkeit des Selens durch Beleuchtung vergrössert wird, eine Beobachtung, die von Willoughby Smith publicirt und darauf vom Lieutenant Sale constatirt[1]) und näher untersucht wurde, ist die Aufmerksamkeit der Physiker neuerdings in hohem Grade auf das Selen gelenkt.

Sale fand, dass Licht aller Farben die Leitungsfähigkeit des Selens erhöht, dass die dunklen, actinischen Strahlen des Spectrums keinen Einfluss auf dasselbe ausüben, und von hier aus die Lichtwirkung bis zum Roth zunimmt, dass sie beim Ultraroth abnimmt und die Wirkung der jenseits desselben liegenden dunklen Wärmestrahlen nur gering ist.

Ich habe in einer der Akademie im Mai vorigen Jahres gemachten vorläufigen Mittheilung[2]) diese Angaben Sale's bestätigt. Es war mir gelungen, das amorphe Selen durch eine mehrere Stunden anhaltende Erhitzung auf eine Temperatur von 200 bis 210° in eine Modification überzuführen, welche bei der Lufttemperatur eine 20 bis 39 mal grössere Leitungsfähigkeit und eine entsprechend grössere Lichtempfindlichkeit hat, als das durch Erhitzung auf 100 bis 150° krystallinisch gemachte Selen zeigt. Diese Modification hat ferner die Eigenschaft, die Elektricität wie ein Metall, d. h. in der Weise zu leiten, dass die Leitungsfähigkeit mit steigender Temperatur abnimmt. Ich fand ferner, dass der Einfluss des Lichtes sich nicht auf die ganze Masse des Selens erstreckt, sondern wesentlich eine Oberflächenwirkung ist. Hierdurch geleitet, gelang es mir, durch Einschmelzen des Selens zwischen die Windungen zweier flacher, in einander liegender Drahtspiralen ein äusserst lichtempfindliches Präparat herzustellen, welches ich zur Construction eines Selen-Photometers benutzte. Endlich constatirte ich, dass die Zunahme der Leitungsfähigkeit des Selens durch Beleuchtung annähernd den Quadratwurzeln der Lichtstärken proportional ist.

W. G. Adams[3]) hat gleichzeitig mit mir die Lichtwirkung auf das Selen untersucht. Er fand, abweichend von Hittorf, dass die Leitungsfähigkeit seiner Selenstange, über deren Herstellung er keine Angaben macht, mit zunehmender Temperatur abnahm, also ein ähnliches Verhalten zeigte, wie ich es durch anhaltende Erhitzung des Selens auf 200° C. hervorrief. Ferner constatirte er, dass der durch eine Kirchhoff-Wheatstone'sche Brücke gemessene Widerstand des Selens um so geringer ausfiel, je grösser die Anzahl der Zellen der zur Messung benutzten Kette war. Adams lässt es unentschieden, ob die Licht-

[1]) Pogg. Ann. Bd. 150, S. 333.

[2]) Diese Berichte S. 280.

[3]) Proc. of the Royal Soc. Vol. XXIII, pag. 535. Juni 1875.

wirkung auf das Selen in einer Veränderung seiner Oberfläche bestände oder ob durch Beleuchtung im Selen ein Polarisationsstrom hervorgerufen würde, welcher sich dem Durchgange des zu messenden Stromes entgegensetzte und dadurch seine Leitungsfähigkeit erhöhte. In gleicher Weise will er die Verminderung des Widerstandes des Selens bei Anwendung stärkerer Batterien erklären. Hierbei ist er aber offenbar in einem Irrthum befangen, da ein solcher durch das Licht oder durch den Strom hervorgerufener Gegenstrom den entgegengesetzten Effect haben müsste. Es müsste das Licht die Leitungsfähigkeit vermindern, und bei Anwendung stärkerer Batterien müsste man einen grösseren Widerstand finden.

Zunächst bemühte ich mich, die höchst merkwürdige Eigenschaft des Lichtes, das beleuchtete Selen besser leitend zu machen, auch bei anderen Körpern aufzufinden. Diese Bemühungen waren aber gänzlich erfolglos. Ich glaubte schon, am Tellur eine analoge Wirkung gefunden zu haben, überzeugte mich aber bald, dass die beobachtete geringe Steigerung der Leitungsfähigkeit der Erwärmung des Tellurs durch Licht und Wärmestrahlen zuzuschreiben war. Da ich hiernach annehmen musste, dass es sich hier nicht um eine allgemeinere Eigenschaft des Lichtes, sondern um ein abnormes Verhalten des Selens handelte, so entschloss ich mich, das Verhalten dieses Körpers zur Wärme und dem galvanischen Strome näher zu untersuchen, in der Hoffnung, hierdurch Anhaltspunkte zur Erklärung der Einwirkung der Beleuchtung auf denselben zu gewinnen. Zunächst wiederholte ich den Hittorf'schen Versuch mit meinen besseren Messinstrumenten für galvanische Ströme.

Da Glas und selbst Porcellan bei höheren Temperaturen die Elektricität leiten, so liess ich mir aus einem Stück Speckstein, welches selbst bei Glühhitze noch völlig isolirt, einen dickwandigen Tiegel herstellen, welcher etwa 6 Gramm Selen aufnehmen konnte. Durch den gutschliessenden Specksteindeckel reichte ein Thermometer bis in die Mitte der Höhlung des Tiegels hinein. Die circa 10 mm dicke Tiegelwand war etwa in halber Höhe durchbohrt und die beiden Löcher durch genau eingepasste Cylinder aus Gaskohle, welche nach innen und aussen vorragten, ausgefüllt. Nachdem der Tiegel mit geschmolzenem Selen angefüllt und dann schnell erkaltet war, so dass amorphes Selen ihn anfüllte, wurden die äusseren Enden der Gaskohlencylinder mit den gut isolirten Zuleitungsdrähten meines sehr empfindlichen Spiegelgalvanometers mit aperiodisch schwingendem Glockenmagnet verbunden und in den Leitungskreis eine Daniell'sche Zelle eingeschaltet, nachdem ich mich überzeugt hatte, dass selbst bei Einschaltung einer Batterie von 100 Daniell'schen Zellen kein Strom durch das amorphe Selen ging. Der so vorbereitete Tiegel wurde nun schnell in ein grösseres Gefäss mit Paraffin, dessen Temperatur 280 ^{0} C. war und während des

Versuches möglichst genau auf dieser Temperatur gehalten wurde, eingetaucht und die Temperatur des Selens im Tiegel sowie die Ablenkung meines Spiegels fortlaufend gleichzeitig beobachtet und notirt. Bei dem bedeutenden Leitungswiderstande des Selens, in Folge dessen der Widerstand des zwischen den Kohlenspitzen befindlichen Selens selbst bei höheren Temperaturen noch immer sehr gross gegen den Widerstand des Galvanometers ist, können die Ablenkungen des Spiegels ohne wesentlichen Fehler der Leitungsfähigkeit des Selens proportional gesetzt werden.

Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der Fig. 34 zur Anschauung gebracht. Die mit A bezeichnete Curve giebt die Temperatur des Selens, die Curve B die Stromstärke oder die Leitungsfähigkeit des Selens an, während Curve C die berechnete Curve darstellt, nach welcher die Temperatur im inneren Gefässe steigen müsste, wenn keine selbstthätigen Temperaturveränderungen des Selens stattfänden. Die Abscissenaxe bezeichnet die seit der Eintauchung verflossene Zeit, die Ordinatenaxe gleichzeitig die Temperatur des Selens in Curve A und die Leitungsfähigkeit desselben in Curve B.

Es ergiebt sich aus der Betrachtung dieser Curven, dass etwa $2^1/_2$ Minuten vergingen, bis eine Temperaturzunahme des Selens bemerklich wurde. Nach Verlauf von 5 Minuten hat sie 80^0 erreicht, ohne von der Normalcurve abzuweichen. Dann steigt sie schnell über die Normalcurve und bleibt bedeutend über derselben, bis die Schmelzung bei 217^0 beginnt.

Das Maximum der Erhebung der Selen-Temperatur über die der Normalcurve findet etwa bei 170^0 statt und beträgt hier circa 13^0. Von hier ab nähert sie sich wieder der letzteren, schneidet sie bei 215^0, zeigt dann über 15 Minuten lang ziemlich constante Temperatur, nähert sich darauf wieder, anfänglich schnell, später langsamer, der Normalcurve, ohne sie vollständig zu erreichen. Es zeigt dies Verhalten, in Uebereinstimmung mit Hittorf, dass das amorphe Selen bei etwa 80^0 C. sich in krystallinisches umzuwandeln beginnt und dabei seine latente Wärme ganz oder doch zum grossen Theil abgiebt. Etwa bei 170^0 hat diese Wärmeentwickelung ihr Maximum erreicht, und die Temperatur des Selens steigt von jetzt ab langsamer als die der Normalcurve. Bei 217^0 beginnt das Selen zu schmelzen, und es wird von ihm wieder Wärme absorbirt, wodurch bewirkt wird, dass seine Temperatur beinahe 20 Minuten constant bleibt. Darauf nähert sie sich wieder der Normalcurve, anfangs schnell, dann langsam, ohne sie vollständig zu erreichen.

Während dieser Temperaturänderungen des Selens sind nun ganz merkwürdige Veränderungen seiner Leitungsfähigkeit zu constatiren, wie sie durch Curve B veranschaulicht werden. 5 Minuten nach der Eintauchung des Tiegels, also bei der Selen-Temperatur von 80^0 war

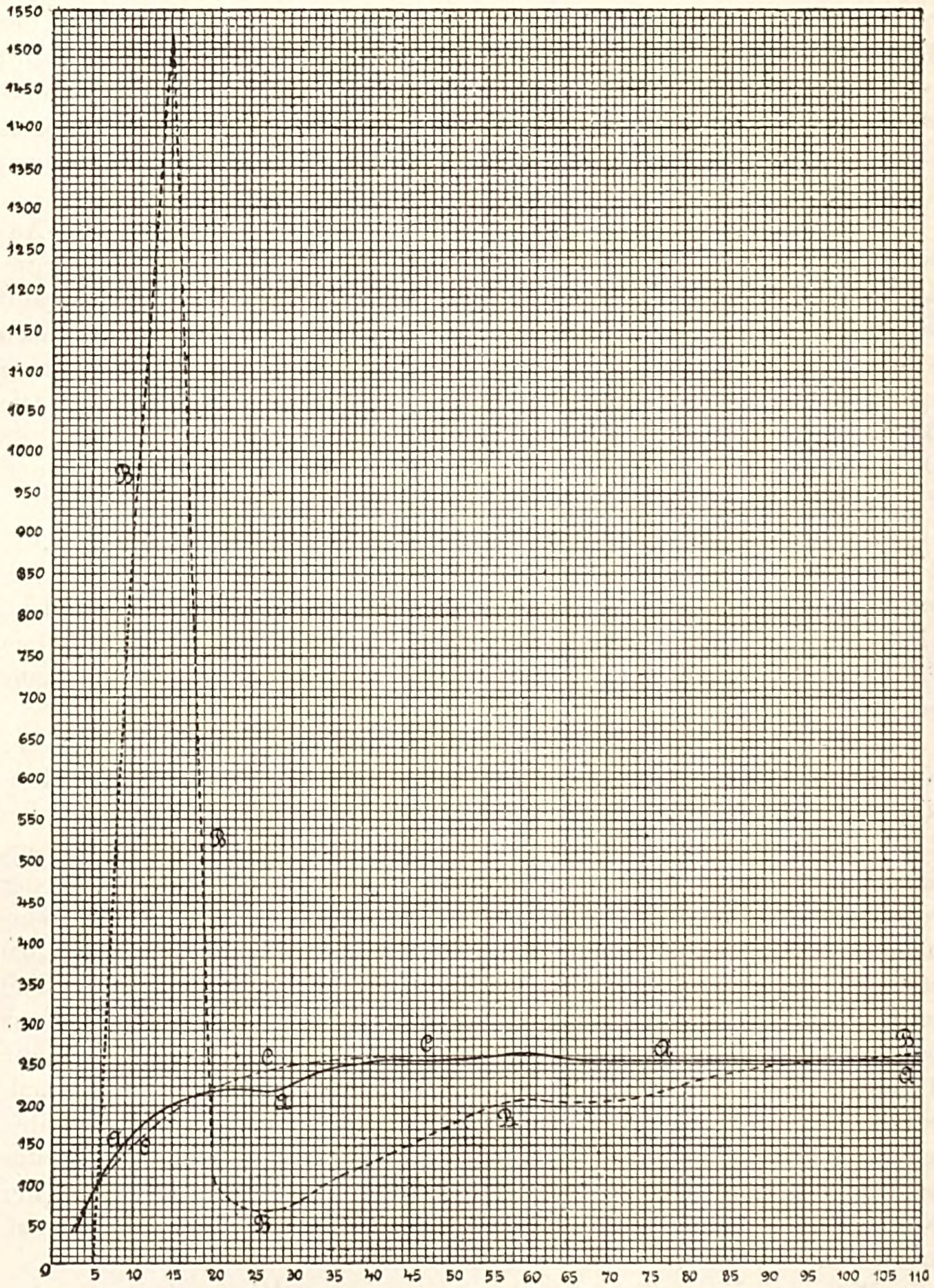

1550
1500
1450
1400
1350
1300
1250
1200
1150
1100
1050
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110

Fig. 34.

das Selen noch vollständig nichtleitend. Nach 10 Minuten, bei der Selen-Temperatur 162°, war die Ablenkung des Spiegels schon 870 Scalentheile, nach weiteren 5 Minuten, bei der Selen-Temperatur 200°, war sie 152 und nach abermals 5 Minuten bei der Selen-Temperatur 215 nur noch 120 Scalentheile. Während der jetzt vor sich gehenden Schmelzung des Selens fiel die Ablenkung auf 70, stieg dann mit wachsender Temperatur des geschmolzenen Selens erst schneller, später langsamer bis 300. Eine Grenze des Ansteigens der Leitungsfähigkeit war hier nach Verlauf von 140 Minuten nach der Eintauchung des Tiegels noch nicht zu erkennen, obschon die Selen-Temperatur bereits nach Verlauf von 60 Minuten constant geworden war.

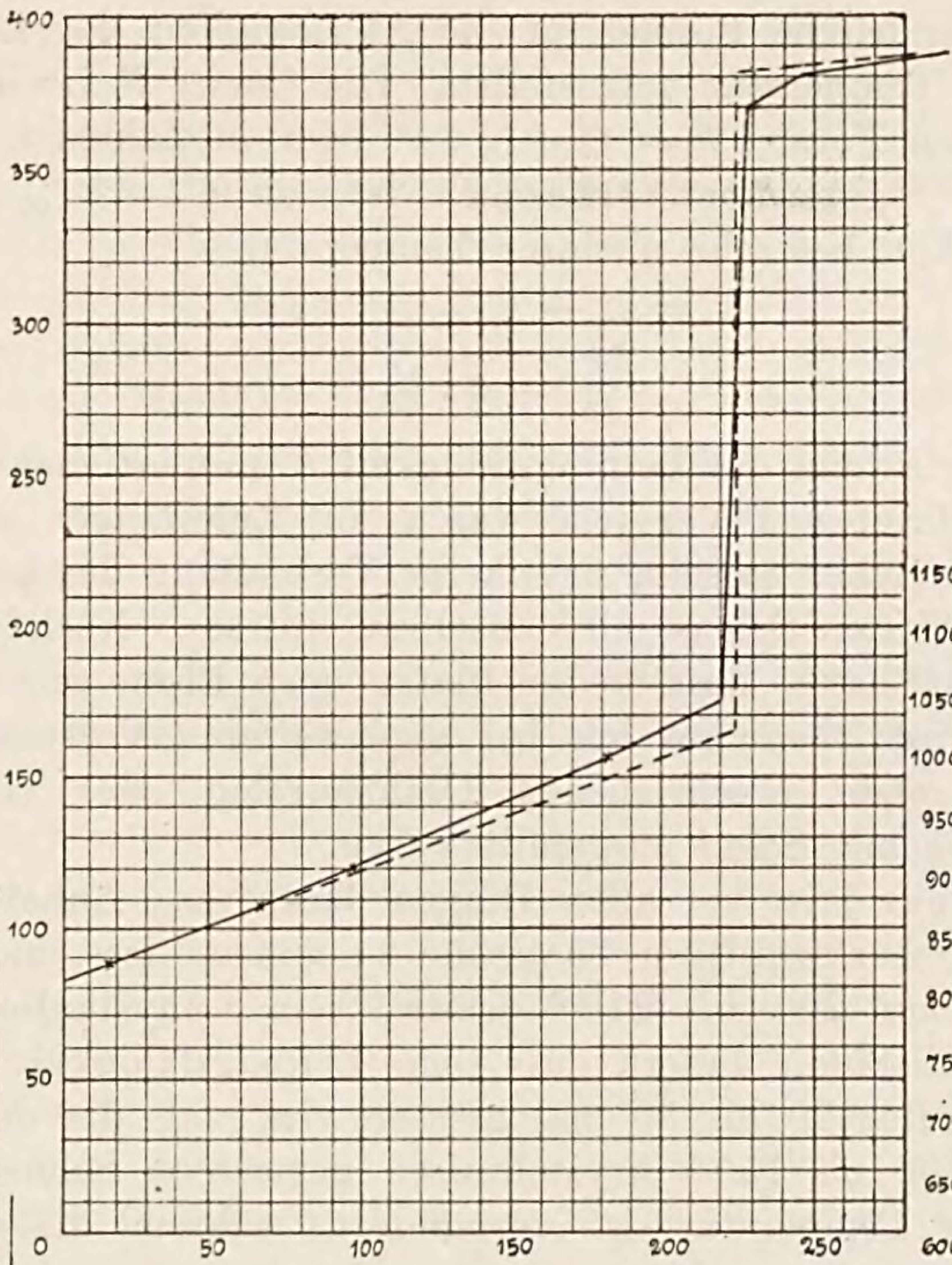
Die Zahlenwerthe dieser Versuchsreihe können nur einen relativen Werth haben, da die von Wärme schlecht leitendem, starrem Selen umschlossene Thermometerkugel, bei steigender Temperatur durch Wärmezufluss von aussen, immer zu niedrige Werthe angeben musste, wogegen sie bei innerer Wärmeentwickelung höhere Temperaturen zeigen konnte als die des Selens in der Nähe der Tiegelwand, welches mit den Kohlencylindern in Berührung war; sie bestätigten aber vollständig die Hittorf'schen Beobachtungen, wonach das amorphe Selen bei ca. 80° C. seine Umwandlung in krystallinisches Selen beginnt, dabei eine bedeutende Wärmemenge entbindet und leitend für Elektricität wird. Es bestätigt sich ferner Hittorf's Angabe, dass die Leitungsfähigkeit des krystallinischen Selens mit der Temperatur in steigender Progression zunimmt und dass dieselbe sich mit Aufnahme der latenten Schmelzwärme bei gleichbleibender Temperatur wieder beträchtlich vermindert.

Es geht aus diesen Versuchen ferner hervor, dass auch die Leitungsfähigkeit des geschmolzenen Selens mit steigender Temperatur sich vergrössert. Ich fand bei einer anderen Versuchsreihe, bei welcher ein ähnlicher Specksteintiegel durch eine Flamme direct erhitzt wurde, dass die Leitungsfähigkeit des geschmolzenen Selens bis zur Temperatur von 350°, bei welcher bereits eine reichliche Verdampfung eintrat, noch fortwährend wuchs. Eine auffallende Erscheinung ist hierbei die, dass sowohl beim festen wie beim geschmolzenen Selen die Leitungsfähigkeit sich mit der Dauer der Erhitzung vermindert, so dass es bei schneller Erhitzung auf eine bestimmte Temperatur weit besser leitet, wie bei langsamer Erhitzung auf dieselbe, sowie ferner, dass durch andauernden Strom durch erhitztes Selen ebenfalls eine schnelle Verminderung der Leitungsfähigkeit herbeigeführt wird, wie wenn eine Polarisation einträte, welche dem Durchgange des Stromes entgegenwirkte. Die angestellten zahlreichen Messungen der Temperatur und der zugehörigen Leitungsfähigkeit konnten aus diesen Gründen keine übereinstimmenden Zahlenwerthe ergeben. Als ein lehrreiches Beispiel

dieser Versuche ist in Fig. 35 eine Curventafel dargestellt, welche ziemlich übereinstimmend die Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Temperatur bei sehr langsamer, mehrere Stunden dauernder Erwärmung und Abkühlung zur Anschauung bringt. Das im Specksteintiegel befindliche Selen war erst durch Abkühlung amorph gemacht, dann auf 150° erhitzt und mehrere Stunden auf dieser Temperatur erhalten, worauf es langsam abgekühlt wurde. Es musste also krystallinisches Selen sein, welches seine latente Wärme bereits abgegeben hatte. Curve A zeigt nun die Steigerung der Leitungsfähigkeit mit der Zunahme der in der Abscissenaxe angegebenen Temperatur. Die Messung geschah derart, dass durch einen Morse-Taster eine Daniell'sche Zelle in den aus dem Selen, den Gaskohlenspitzen und dem Galvanometerdraht gebildeten Schliessungskreis so lange eingeschaltet wurde, bis die Ablenkung des Spiegels ein Maximum geworden war. Da das Galvanometer vollkommen aperiodisch war, so fiel dies Maximum des Ausschlages mit der dauernden Ablenkung vollkommen zusammen. Beim Loslassen des Tasters wurde die Daniell'sche Zelle ausgeschaltet. Es bot diese Methode den Vortheil, dass man mit der Messung des Stromes gleich eine Messung der etwa vorhandenen Polarisation verbinden konnte. Wird nämlich durch Anbringung eines Richtstabes, in passender Entfernung unter dem Magnete des Galvanometers, die Richtkraft des letzteren so gross gemacht, dass die Aperiodicität gerade vollständig ist, ohne überschritten zu sein, wie dies bei meinem Galvanometer ohne Richtstab der Fall ist, so geht der Spiegel bei Rückstromschaltung ebenso wie bei Unterbrechung des Stromes genau in seine 0-Stellung zurück, ohne darüber hinauszuschwanken. Ist aber Polarisation vorhanden, durchläuft also ein Rückstrom die Galvanometerwindungen während des Rückganges des Spiegels, so wirkt dieser Strom beschleunigend auf den Magnet und treibt ihn über die Ruhelage hinaus. Die Grösse dieser Ueberschreitung der Ruhelage ist dann ein Mass der Stärke der Polarisation. Die später angeführten Polarisationsmessungen sind in dieser Weise ausgeführt, wenn nicht angegeben ist, dass sie mit der continuirlichen Wippe oder ohne gleichzeitige Strommessung, von der Ruhestellung aus, angestellt sind.

Wie sich aus dem Anblick der Curve A, A' ergiebt, nimmt die Leitungsfähigkeit mit wachsender Temperatur in schneller Progression zu. Bei der ersten Messung bei 50° C. war sie 15, bei 100°: 78, bei 150°: 290, bei 200°: 927. Auf dieser Temperatur wurde das Bad 15 Minuten lang erhalten. Die Leitungsfähigkeit sank dadurch auf 819 zurück und erhob sich erst nach weiterer Erhitzung auf 203° wieder bis 923. Als die Temperatur nun wieder 50 Minuten nahe constant erhalten wurde, sank die Leitungsfähigkeit wieder bis auf 815 hinab. Bei der jetzt beginnenden Abkühlung war sie bei 200°: 789, bei 150°: 267, bei 130°: 170, wo der Versuch abgebrochen werden musste. Am

Fig. 37.



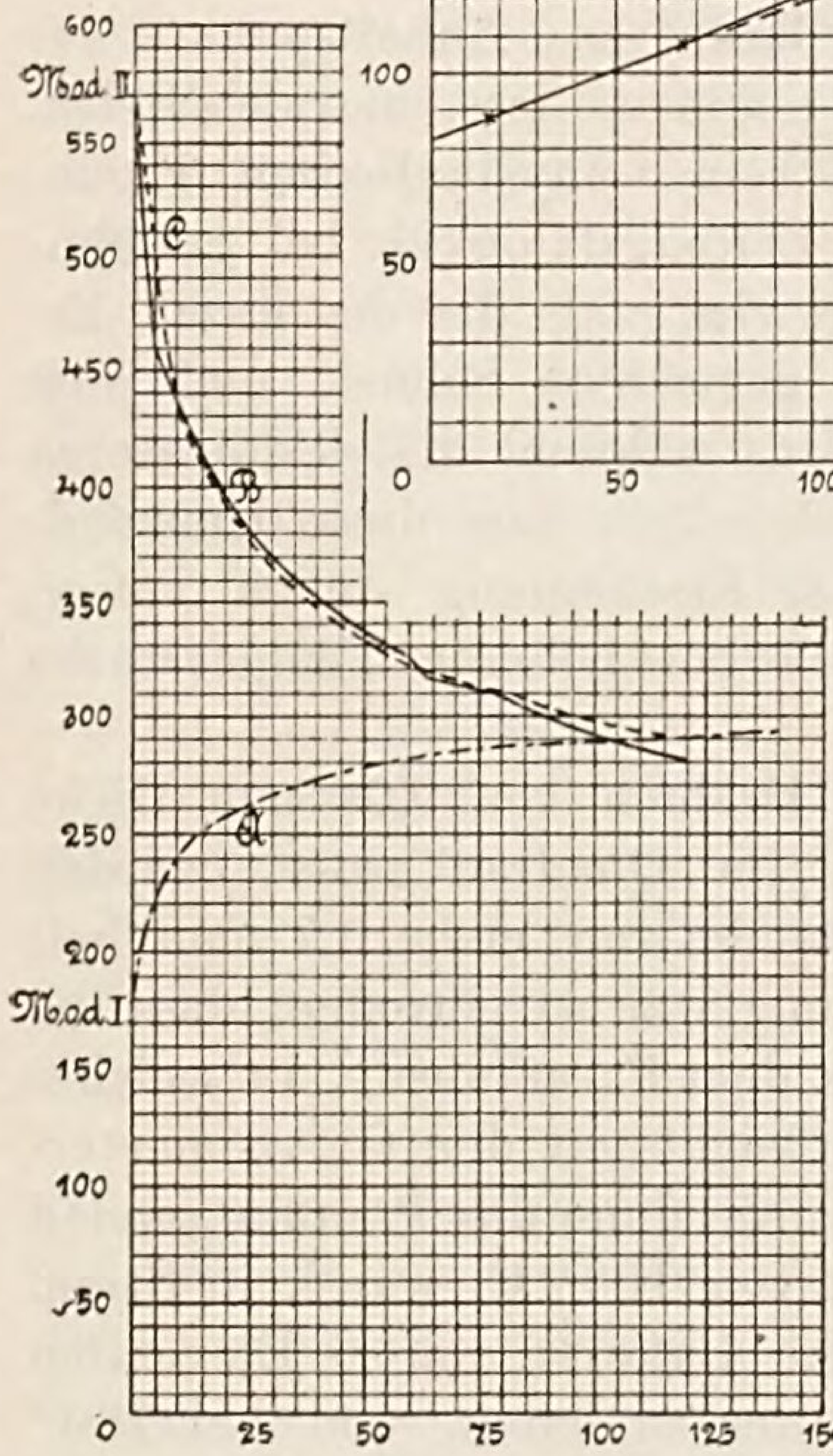


Fig. 36.

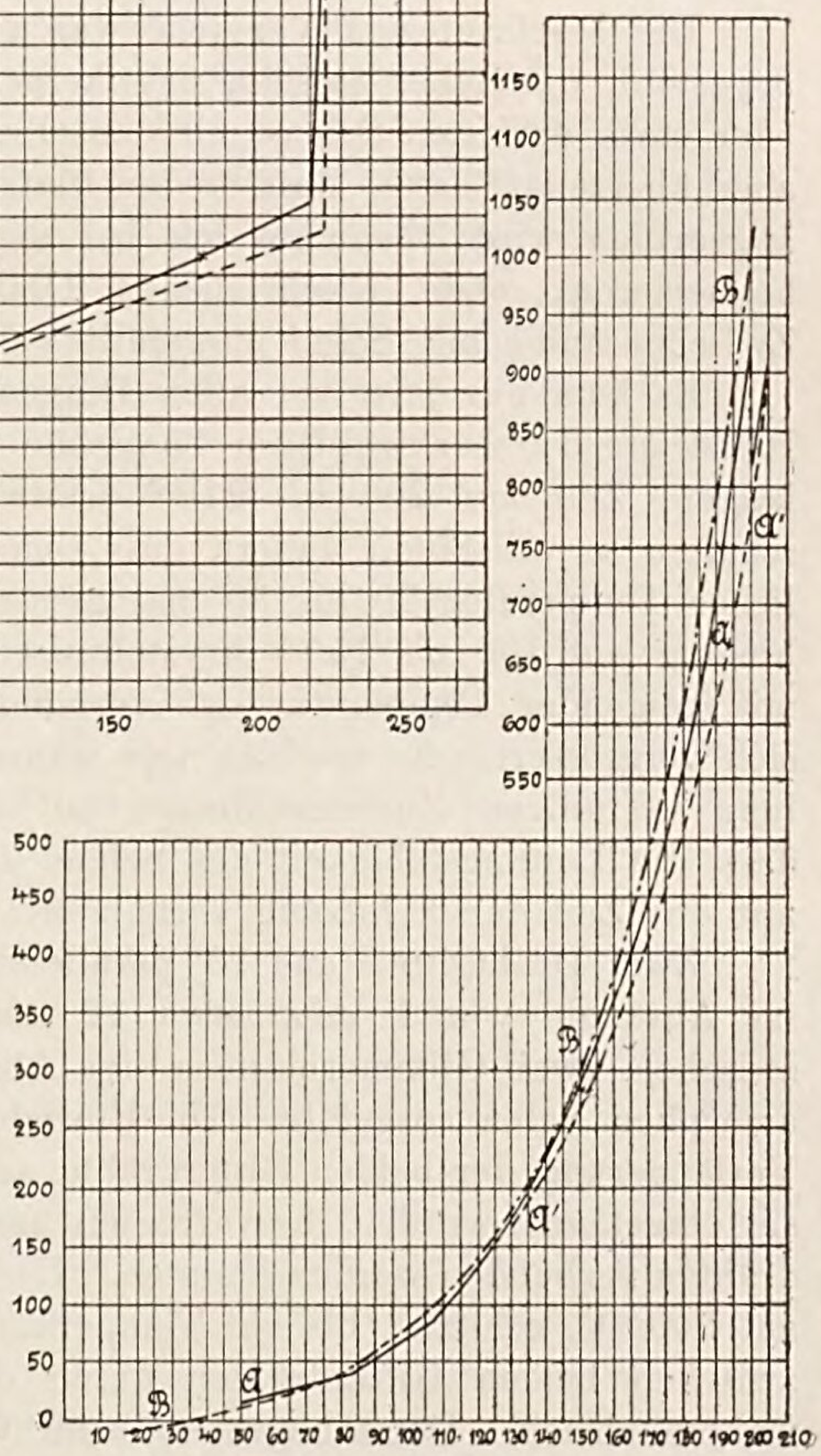


Fig. 35.

folgenden Tage wurde der Versuch in gleicher Weise wiederholt und ergab die ähnlichen, in Curve A bei aufsteigenden und Curve A' bei fallenden Temperaturen dargestellten Curven. Dr. Frölich hat versucht, eine empirische Formel für die Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Temperatur aufzustellen. Die Curve B ist nach der von ihm erfundenen Formel $k = C + a \cdot e^{at}$ oder in Zahlen $k = -17 + 8.48\ (1{,}025)^t$, gezeichnet. Hiernach ist, da $C = k_{-\infty}$, d. h. die Leitungsfähigkeit bei sehr niederer Temperatur

$$k' = k - k_{-\infty} = a \cdot e^{at}$$

$$\frac{dk'}{dt} = a \cdot k',$$

d. h. das Wachsthum der Leitungsfähigkeit k' proportional mit k' selbst.

Die beschriebenen Versuche waren mit Zuleitungen aus Gaskohle angestellt, um sicher zu sein, dass keine Verbindung des geschmolzenen oder stark erhitzten Selens mit denselben einträte. Nachdem ich mich aber überzeugt hatte, dass weder Platin noch Eisen von festem Selen angegriffen wird, benutzte ich bei den weiteren Versuchen die weit bequemeren, oben beschriebenen Drahtspiralen oder Gitter, deren Zwischenräume mit Selen ausgefüllt waren.

Es kam mir jetzt vor allen Dingen darauf an, Anhaltspunkte zur Erklärung der merkwürdigen Thatsache zu finden, dass amorphes Selen, längere Zeit auf 200 bis 210° erhitzt, seine physikalischen Eigenschaften so vollständig ändert, dass seine Leitungsfähigkeit bei gewöhnlicher Temperatur 30 bis 50 mal grösser wird, als die des durch Erhitzung auf 100 bis 150° krystallinisch gemachten Selens, und jetzt mit steigender Temperatur sich vermindert, während die des letzteren sich vergrössert. Es erschien mir wahrscheinlich, dass diese Umwandlung in innigem Zusammenhange mit der Erscheinung stehen müsse, dass die Leitungsfähigkeit des Selens sich bei höheren Temperaturen mit der Zeit der Erhitzung vermindert.

Zwei Drahtgitter aus 10 parallelen Drähten von 0,04 mm Dicke im Abstande von 1 mm, etwa 12 mm im Quadrat gross, wurden zwischen zwei Glimmerblättern im Abstande von etwa 0,7 mm mit amorphem Selen ausgefüllt. Die Einrichtung war so getroffen, dass die Verlängerung der beiden Gitterdrähte aus dem Paraffinbade, in welches sie eingetaucht wurden, hervorragten und leicht mit den Galvanometerdrähten verbunden werden konnten. Es wurde dann das Paraffin schnell auf 200° C. erhitzt. Bis zur Temperatur von 100° C. war kein Strom zwischen beiden Gitterdrähten durch eine Batterie von 6 Elementen wahrzunehmen. Dann begannen beide Gitter zu leiten, und bei 180° war der Strom eines Daniells nur mit Hülfe einer am Galvanometer angebrachten Nebenschliessung zu messen, welche seine Empfindlichkeit auf 1/10 verminderte. Bei 200° erreichte der Strom bei beiden Gittern sein Maximum. Gitter Nr. 1 hatte die Leitungsfähigkeit 2720, Gitter

Nr. 2 die Leitungsfähigkeit 2120. Die Temperatur wurde nun 4 Stunden lang constant auf 200^0 erhalten. Nach der ersten Stunde war die Leitungsfähigkeit von dem ersten auf 1240, die vom zweiten auf 940 gesunken. Nach Verlauf der zweiten Stunde war die Leitungsfähigkeit des ersten noch 1090, die des zweiten 820, und nach Verlauf der vierten Stunde waren sie 1000 resp. 800. Es wurde jetzt Nr. 2 rasch durch Eintauchen in kaltes Petroleum abgekühlt, während Nr. 1 langsam abgekühlt und während dieser Zeit die Leitungsfähigkeit von Zeit zu Zeit gemessen wurde. Das letztere hatte bei 180^0 die Leitungsfähigkeit 1020, bei 150^0 die Leitungsfähigkeit 2460, bei 130^0 die Leitungsfähigkeit 5730, bei 120^0 die Leitungsfähigkeit 8320. Bei 100^0 ging der Spiegel über die Scala, und es musste ein grösserer Nebenschluss am Galvanometer angebracht werden, welcher seine Empfindlichkeit noch weiter reducirte. Die Leitungsfähigkeit war nun bei 100^0: 17 020, bei 80^0: 21 280 und nahm von hier an langsam wieder ab. Da das Paraffin bei 60^0 erstarrte, so nahm auch dessen Temperatur von hier an nur sehr langsam ab. Nach vollständiger Abkühlung am anderen Tage war die Leitungsfähigkeit nur noch 6190.

Das rasch von der Temperatur 200^0 in kaltem Petroleum abgekühlte Gitter Nr. 1 hatte nach der Abkühlung die Leitungsfähigkeit 16 450 und ging jetzt continuirlich, erst schneller, dann immer langsamer, zurück. Nach $1^1/_2$ Stunden war sie noch 14 330 und am nächsten Tage noch 7710.

Es folgt aus diesen Versuchen, dass das längere Zeit auf 200^0 erhitzte amorphe Selen eine Umwandlung erfährt, durch die seine Leitungsfähigkeit bei dieser Temperatur bis auf etwa $^1/_3$ ihrer anfänglichen Grösse vermindert wird. Es hat dann die Eigenschaft der Metalle, dass die Leitungsfähigkeit bei abnehmender Temperatur wächst, während dieselbe bei krystallinischem Selen, welches nicht längere Zeit erhitzt war, mit abnehmender Temperatur rasch abnimmt.

Bei schneller Abkühlung zur Lufttemperatur leitet das abgekühlte Selen über 16 mal besser wie bei der Temperatur von 200^0. Es behält diese grosse Leitungsfähigkeit aber nicht dauernd. Dieselbe verliert sich nach und nach wieder und nähert sich erst nach Verlauf mehrerer Tage einer Constanten.

Hat die Erhitzung des Selens auf 200 bis 210^0 so lange gedauert, bis keine weitere Verminderung der Leitungsfähigkeit mehr stattfindet, so beginnt bei eintretender Abkühlung sofort die Vergrösserung der Leitungsfähigkeit. War diese Grenze nicht erreicht, so nimmt die Leitungsfähigkeit bei eintretender Abkühlung zuerst ab, nähert sich dann einem Wendepunkte, von dem ab sie dann wieder zunimmt. Die Höhenlage dieses Wendepunktes hängt von der Dauer der Erhitzung und der durch sie herbeigeführten Verminderung der Leitungsfähigkeit während derselben ab. Dauert die Erhitzung nur kurze Zeit, so wird

der Charakter des Selens dadurch nicht geändert; seine Leitungsfähigkeit vermindert sich fortwährend mit der Erniedrigung der Temperatur, wie bei unverändertem krystallinischen Selen.

Das Gitter, mit welchem dies letztere constatirt ward, wurde darauf 8 Minuten in das Paraffinbad von 205^0 getaucht und dann durch einen Luftstrom, nachdem es aus dem Bade genommen war, rasch abgekühlt. Seine Leitungsfähigkeit war während dieser Zeit von 100, die es etwa 15 Sec. nach der Eintauchung angenommen hatte, auf 39 gefallen. Bei der Abkühlung fiel seine Leitungsfähigkeit schnell auf 5 hinab und stieg dann wieder auf 37. Nachdem es wiederum $^1/_4$ Stunde erhitzt war, fiel die Leitungsfähigkeit nach der Abkühlung von Leitungsfähigkeit 132, die es jetzt im Paraffinbade von 212^0 angenommen hatte, auf 50 und stieg darauf bis 200. Es behielt diese erhöhte Leitungsfähigkeit aber nicht, sondern sie sank nach und nach auf einen geringen Betrag.

Es muss hierbei bemerkt werden, dass das beschriebene merkwürdige Verhalten des Selens, bei andauernder Erhitzung auf 200^0 den Charakter der metallischen Stromleitung anzunehmen, nur dann in dieser Weise beobachtet wurde, wenn amorphes Selen direct auf 200^0 erhitzt ward. War es erst längere Zeit auf 100^0 erhitzt und dadurch vollständig in einfaches krystallinisches Selen umgewandelt, so trat diese Umwandlung bei weiterer andauernder Erhitzung auf 200^0 gar nicht oder doch nur in weit geringerem Masse ein. Ebenso ist Selen, welches aus dem flüssigen Zustande direct in den krystallinischen Zustand übergeführt ist, was eintritt, wenn man Selen schmilzt und dann sehr lange in einer Temperatur von 200 bis 210^0 erhält, nicht metallisch leitend, wie ich früher annahm, sondern verhält sich wie das bei geringerer Temperatur umgewandelte krystallinische Selen. Diese Krystallisation aus dem flüssigen Zustande geht äusserst langsam vor sich. Ein Glasrohr von 6 mm Weite, welches auf $^2/_3$ seiner Länge mit Selen gefüllt war, wurde zugeschmolzen und in einem Paraffinbade erst eine Stunde lang zur Temperatur von 230^0 erhitzt. Die Temperatur des Bades wurde dann auf 205^0 erniedrigt und mit Hülfe eines mechanischen Wärmeregulators während 24 Stunden unausgesetzt auf einer zwischen 205 und 208^0 schwankenden Temperatur erhalten. Beim Herausnehmen des Rohres erschien das Selen in demselben gänzlich erstarrt zu sein. Als es jedoch zerbrochen wurde, nachdem es schnell abgekühlt war, zeigte sich, dass nur der obere Theil der Masse grob krystallinisch war, während der untere Theil, etwa $^1/_5$ der ganzen Masse, noch aus amorphem Selen bestand. Es wird der untere Theil des Bades, in welchem das Rohr sich in senkrechter Lage befand, wahrscheinlich etwas wärmer gewesen sein, als der obere und daher die Krystallisation von oben begonnen haben. Die Masse des krystallinischen Selens war blasig, was vielleicht damit zusammenhing, dass bei Oeffnung

des Rohres ein starker Geruch nach Selen-Wasserstoff sich verbreitete. Das Selen wie das Glasrohr waren zwar lufttrocken, doch waren keine Vorsichtsmassregeln zur Abhaltung von Wasserdampf angewandt. Es wurde aus dieser krystallinischen Selenstange ein Cylinder geschnitten, und dieser zwischen zwei mit einer Lage Kupferamalgam bedeckten Metallplatten eingespannt. Neben diesem, in der beifolgenden Tabelle mit *A* bezeichneten Selencylinder wurde ein ähnlicher aus krystallinischem Selen, das durch Erhitzung des amorphen Selens auf 100° C. erzeugt war und die Bezeichnung *B* trägt, und eines dritten durch 10stündige Erhitzung amorphen Selens auf 200° erzeugten und mit *C* bezeichneten der Widerstandsmessung unterzogen und die specifische Leitungsfähigkeit der Masse bei 15° C. — auf Leitungsfähigkeit des Quecksilbers als Einheit bezogen — gemessen. Diese Zahlen machen jedoch nur auf geringe Genauigkeit Anspruch, da namentlich bei *C* die einzelnen Bestimmungen erheblich von einander abweichen.

	A (Mod. III)	*B* (Mod. I)	*C* (Mod. II)
Leitungsfähigkeit:	$\frac{1}{80000 \text{ Mill.}}$	$\frac{1}{1{,}4 \text{ Bill.}}$	$\frac{1}{4000 \text{ Mill.}}$

Im Folgenden wird stets

Mod. I: Selen, welches wie Cylinder *B*,
Mod. II: Selen, welches wie Cylinder *C*,
Mod. III: Selen, welches wie Cylinder *A*

behandelt wurde, bezeichnen.

Eine sehr merkwürdige Eigenschaft des krystallinischen Selens der Mod. II ist die von Adams beobachtete, dass seine Leitungsfähigkeit mit der elektromotorischen Kraft der zur Messung benutzten Batterie zunimmt. Bei den Versuchen der folgenden Tabelle wurde ein durch lange Erhitzung auf 205° umgewandeltes Selengitter der Mod. II benutzt. Das Gitter wurde in Petroleum getaucht, welches durch umgebendes schmelzendes Eis auf der constanten Temperatur von 1,3° C. erhalten wurde.

Zahl der Elemente . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Ablenkung des Spiegels	98	196	298	400	507	615	726	838	950	98
Berechnet 98 . n. . . .	98	196	294	392	490	588	686	784	882	
Differenz	0	0	4	8	17	27	40	54	68	

Da das mit den beiden Glimmerblättern, zwischen denen es lag, nicht viel über 0,5 mm dicke Gitter von Petroleum von constanter Temperatur umgeben war, so konnten die Messungen mittels Erwärmung

durch den Strom nicht sehr beeinträchtigt sein. Da Erwärmung bei Selen der Mod. II die Leitungsfähigkeit desselben vermindert, so könnten jedoch die gemessenen Werthe bei grösserer Zellenzahl vielleicht noch etwas zu klein ausgefallen sein. Bei höheren Temperaturen fällt die Steigerung der Leitungsfähigkeit mit wachsender elektromotorischer Kraft etwas geringer aus. Als dasselbe Gitter auf 18^0 erhalten wurde, erhielt man:

Zahl der Elemente . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Ablenkung des Spiegels	113	228	343	459	578	698	818	938
Berechnet	113	226	339	452	565	678	791	904
Differenz	0	2	4	7	13	20	27	34

Die absoluten Werthe beider Versuchsreihen sind nicht vergleichbar, da die Leitungsfähigkeit des Gitters sich am folgenden Tage geändert hatte und der Galvanometer-Nebenschluss verschieden war. Es scheint hiernach, dass diese Eigenthümlichkeit des Selens mit Annäherung an seinen Wendepunkt, der bei diesem Gitter zwischen 30 und 40^0 lag, mehr und mehr verschwindet. Bei Selen der Mod. I, welches nicht höher wie 150^0 erhitzt ist, ist diese Erscheinung nur bei sehr geringen elektromotorischen Kräften noch nachzuweisen. Werden Erwärmung und Veränderung der Leitungsfähigkeit durch andauernde Ströme vermieden, so bleibt die Leitungsfähigkeit bei Anwendung von 1 bis 15 Elementen bei ihm ziemlich unverändert. Da Adam's Selenstange die Eigenschaften der Mod. II hatte, wahrscheinlich weil sie zufällig bei sehr hoher Temperatur aus amorphem Selen umgewandelt war, so ist erklärlich, dass er die Zunahme der Leitungsfähigkeit bei Anwendung grösserer elektromotorischer Kräfte für eine allgemeine Eigenschaft des krystallinischen Selens hielt.

Die gleiche elektromotorische Kraft der benutzten Daniell'schen Zellen, welche bei diesen Versuchen sowohl wie bei allen späteren sehr constante Daniell'sche Ketten, sogenannte Pappelemente, waren, wurde vor Anstellung der Versuche constatirt.

Es ist schon hervorgehoben, dass der galvanische Strom die Leitungsfähigkeit des Selens verändert. Diese Aenderung geschieht stets in demselben Sinne, als wenn es durch den Strom erwärmt wäre. Es nimmt also durch dauernden Strom die Leitungsfähigkeit von Mod. I zu, die von Mod. II ab. Wäre aber die Erwärmung der Selenmasse die Ursache der Veränderung, so müsste die Veränderung den Quadraten der Stromstärke proportional sein. und sie müsste weit geringer sein, wenn die Gitter durch ihre Umgebung auf constanter Temperatur erhalten werden. Es ist dies aber nicht der Fall. Die Versuche wurden mit gleichen Gittern gemacht, von denen das eine Mod. I, das andere

Mod. II war. Die Ergebnisse derselben sind in Fig. 36 graphisch dargestellt. Beide Gitter befanden sich in Petroleum von der Temperatur der Luft. Mod. I wurde durch 12, Mod. II durch 3 eingeschaltete Daniell'sche Zellen dauernd durch den Galvanometerdraht geschlossen. Die Abscissenaxe giebt die Zeit der Schliessung des Stromlaufes durch das Gitter in Minuten, die Ordinatenaxe die beobachteten Ablenkungen des Spiegels, dessen Ruhelage häufig controlirt wurde. Curve *A* giebt die Leitungsfähigkeit des Gitters der Mod. I an, und zwar wurde dieselbe hier, wie bei den übrigen Curven, nach jeder Temperatur-Aenderung von 5^0 beobachtet. Wie ersichtlich, steigt die Leitungsfähigkeit fortwährend und zwar erst schnell und mit der Zeit immer langsamer, so dass sie sich asymptotisch einer Constanten zu nähern scheint.

Die in den Curven *B* und *C* dargestellten Versuche sind mit dem Gitter der Mod. II und 3 Zellen angestellt, und zwar war das Gitter bei der Versuchsreihe *B* in Luft von constanter Temperatur, bei Versuchsreihe der Curve *C*, welche am folgenden Tage ausgeführt wurde, in Petroleum von nahe gleicher Temperatur eingetaucht. Da die elektromotorische Kraft der benutzten Batterie nur $^1/_4$ derjenigen war, mit welcher die Versuchsreihe der Curve *A* ausgeführt wurde, so müssen die Ordinaten der ersteren mit 4 multiplicirt werden, um mit denen der letzteren vergleichbar zu sein.

Es ergiebt sich aus diesen Curven, dass die Leitungsfähigkeit erst schnell, dann langsamer, fortwährend abnimmt. Nach Aufhören des Stromes nimmt das Selen nach Verlauf einer längeren Zeit seine frühere Leitungsfähigkeit nahe wieder an. Wäre die Erhitzung der Selenmasse durch den Strom die Ursache der Verminderung der Leitungsfähigkeit, so müsste eine beträchtliche Verschiedenheit zwischen den Curven *B* und *C* vorhanden sein.

Wird die Richtung des Stromes durch das Selen umgekehrt, nachdem seine Leitungsfähigkeit durch den Strom bedeutend vermindert ist, so beobachtet man sehr veränderliche und schwer vorherzubestimmende Erscheinungen, die zum Theil von der mehr oder weniger vollständigen Umwandlung des Selens in Mod. I oder II, zum Theil von der Zeit, die seit der Umwandlung verflossen ist, abzuhängen scheinen. Manche Gitter sind nur geringen Einflüssen des Stromes unterworfen und zeigen auch nicht die geringste Polarisation, selbst wenn sie mit einer schnellgehenden Wippe darauf geprüft werden. Bei anderen tritt Polarisation auf, wenn die Stromstärke eine gewisse Grenze überschreitet, bei noch anderen endlich tritt sie auch bei ganz schwachen elektromotorischen Kräften schon auf. Bei diesen, gewöhnlich frisch umgewandelten Gittern sinkt die Leitungsfähigkeit bei andauerndem Strome nach und nach bis auf einen ganz geringen Betrag. Kehrt man nun die Stromrichtung um, so erhält man keinen Polarisationsausschlag; die erste Ablenkung des

Spiegels ist nicht grösser, als sie vor der Umkehr war, fängt aber bald darauf an zu steigen, und der Strom kann in wenig Minuten den 1000fachen Betrag des anfänglichen erreichen. Nach Ueberschreitung des Maximums fällt die Ablenkung wieder und geht bei längerer Fortdauer des Stromes langsam wieder auf den ersten geringen Betrag zurück. Es schien zuerst, als wenn man es hier mit Peltier'schen Strömen, die durch Erwärmung und Abkühlung der Berührungsflächen zwischen Selen und Gitterdrähten durch den Strom hervorgerufen wären, zu thun hätte, doch ist dadurch das allmähliche Ansteigen des Stromes nach der Umkehr nicht zu erklären. Man wird aber lebhaft an die von Hittorf beschriebenen eigenthümlichen Erscheinungen erinnert, die derselbe beim Halb-Schwefelkupfer beobachtet hat. Dieselben sind in ähnlicher Weise auch bei fehlerhaften Unterseekabeln bemerklich, wenn sie durch vulcanisirtes Kautschuk oder Guttapercha isolirt sind, ferner bei den sogen. unipolaren Leitern, wie Seife etc., und sind hier auf eine elektrolytische Aenderung dieser Körper an den Contactflächen und in deren Umgebung zurückzuführen.

Ganz absonderlich ist auch das Verhalten des Selens bei eintretendem Temperaturwechsel. Das Selen nimmt, sobald seine Temperatur verändert ist, sofort eine dieser Temperatur entsprechende Leitungsfähigkeit an und zwar bei steigender Temperatur eine grössere, wenn es aus Mod. I, eine geringere, wenn es aus Mod. II besteht. Es behält aber diese Leitungsfähigkeit nicht dauernd. Bei Mod. II sinkt dieselbe nach jeder Temperaturänderung, mag dieselbe in einer Erhöhung oder einer Erniedrigung der Temperatur bestanden haben, und nähert sich erst schnell, dann langsamer einem Grenzwerthe. Je tiefer unter dem Wendepunkte die Temperatur liegt, die dem Selen ertheilt wird, desto grösser ist die Leitungsfähigkeit, die es sogleich annimmt, desto schneller und grösser ist aber auch der Rückgang derselben. Wird es später wieder auf die höhere Temperatur gebracht, so nimmt es allmählich die derselben entsprechende Leitungsfähigkeit wieder an, erreicht sie aber nicht vollständig wieder, wenn die Temperaturdifferenz beträchtlich war. Ist das Selen lange in der niederen Temperatur gewesen und seine Leitungsfähigkeit auf ein Minimum hinabgesunken, so kann die eigenthümliche Erscheinung eintreten, dass eine Temperaturerhöhung im ersten Augenblicke eine Erhöhung der Leitungsfähigkeit bei der Mod. II hervorbringt, wenn die Leitungsfähigkeit bei der niedrigen Temperatur unter diejenige, die der höheren Temperatur zukommt, hinabgesunken war. Ist dann das Minimum für diese Temperatur eingetreten, so fällt dies aber wieder niedriger aus als das Minimum, welches bei der höheren Temperatur eintrat.

Sehr grosse Abkühlung, z. B. eine Temperaturerniedrigung auf — 15°, scheint die metallische Eigenschaft der Mod. II gänzlich zu zerstören oder drückt doch mindestens den Wendepunkt bis unter die

Lufttemperatur hinab, so dass ein Gitter der Mod. II nach einer solchen Abkühlung die Eigenschaften der Mod. I zeigt.

Bei Gittern der Mod. I sind diese Erscheinungen constanter. Die Leitungsfähigkeit geht bei Temperaturerhöhung sowie bei Temperaturerniedrigung erst schnell, dann langsamer direct auf die der betreffenden Temperatur zugehörige Grösse.

Es ist hier noch eine Erscheinung hervorzuheben, der man bei den Versuchen mit Selen häufig begegnet, und die sehr störend in die meinigen eingriff, ehe es gelang, die Ursache derselben zu erkennen oder doch wenigstens die Bedingungen festzustellen, unter denen sie eintritt. Während es in der Regel, wenigstens bei älteren Selengittern, bei denen die oben beschriebene Polarisation nicht mehr eintritt, für die Widerstandsmessung ganz gleichgültig ist, welches die Richtung des Stromes durch das Selen ist, tritt bisweilen der Fall ein, dass die Widerstandsmessung bei der einen Stromrichtung viel grösser — bisweilen über doppelt so gross — ausfällt als bei der anderen. Es hat sich nun gezeigt, dass diese auffällige Erscheinung dann eintritt, wenn die Berührungsfläche zwischen dem Selen und den Zuleitungsdrähten sehr ungleich gross sind. Als ich zu Beleuchtungsversuchen beide Seiten eines etwa $^1/_2$ mm dicken Selenplättchens der Mod. II mit einem Drahtgitter aus 0,03 mm dicken Platindrähten versehen hatte, die auf der einen Seite des Plättchens 1 mm, auf der anderen $^1/_2$ mm Abstand von einander hatten, zeigte sich, dass die Leitungsfähigkeit des Plättchens etwa doppelt so gross war, wenn das zwischen den beiden Drahtgittern eingeschaltete Element so angelegt war, dass der Kupferpol mit dem aus 10 parallelen Drähten bestehenden weiten Gitter, der Zinkpol mit dem aus 20 Drähten bestehenden engen Gitter von $^1/_2$ mm Abstand verbunden war, als bei der umgekehrten Einschaltung.

Bei zwei möglichst gleich angefertigten Doppelgittern der beschriebenen Art, *A* und *B*, ergaben sich für die angegebenen Schaltungen die Leitungsfähigkeiten:

	Kupferpol am 10drähtigen Gitter	Kupferpol am 20drähtigen Gitter	Verhältniss
Doppelgitter *A*	490	244	0,49
Doppelgitter *B*	282	192	0,67

Es scheint hiernach, als wenn hier der Leitungswiderstand des Selens fast ganz von der Grösse der positiven Anode abhängig ist. Die früher bei gleich grossen Zuleitungsflächen beobachtete ähnliche Erscheinung erklärte sich danach einfach dadurch, dass beide nicht in gleich inniger, leitender Verbindung mit der Selenmasse waren. Polarisation war in allen diesen Fällen nicht vorhanden.

Bei Mod. I und dem aus flüssigem Selen krystallisirten, viel grobkörnigeren und besser leitenden Selen, welches wir Mod. III nennen wollen, hat sich diese Erscheinung nicht gezeigt.

Durch die beschriebenen Versuche ist ersichtlich, dass das krystallinische Selen sich in seinem Verhalten gegen Wärme und Elektricität wesentlich von den anderen einfachen Körpern unterscheidet. Mit dem Tellur und der Kohle hat es die abweichende Eigenschaft gemein, die Elektricität besser bei höherer Temperatur zu leiten, während alle übrigen einfachen, die Elektricität leitenden Körper, d. i. die Metalle, dieselbe bei niederer Temperatur besser leiten. Das Selen behält aber diese Eigenschaft nicht bei allen Temperaturen bei, sondern verliert sie bei längerer Erhitzung auf 200° C. und verhält sich dann der Elektricität gegenüber ebenfalls wie ein Metall, d. i. seine Leitungsfähigkeit nimmt mit der Abkühlung zu. Dieser metallische Zustand des bei höherer Temperatur in den krystallinischen Zustand übergeführten amorphen Selens ist aber nicht stabil. Er bildet sich bei und nach der Abkühlung langsam wieder in den des nicht metallisch sondern elektrolytisch leitenden, bei geringerer Temperatur krystallinisch gewordenen Selens zurück, bis auf einen im letzteren gelöst bleibenden Rest, dessen Grösse von der Höhe der Temperatur, bis zu welcher es abgekühlt wurde, abhängt. Da das Selen ein einfacher Körper ist, so können es nicht eigentliche chemische Verbindungen oder Umwandlungen sein, welche diese verschiedenen Zustände bedingen, und es liegt die Annahme nahe, dass es ein dritter allotroper Zustand ist, den das feste Selen bei längerer Erhitzung auf 200° C. annimmt, ein Zustand, der nur bei dieser Temperatur stabil ist und bei niedrigeren Temperaturen nur dadurch vor gänzlicher Zerstörung und Umbildung in elektrolytisch leitendes Selen geschützt wird, dass es in diesem gelöst oder mit ihm verbunden ist. Es erklärt sich hierdurch das Auftreten eines Wendepunktes, bei dessen Ueberschreitung die metallische Leitung in die den Charakter der elektrolytischen Leitung tragende übergeht, sowie das Herabsinken desselben mit der Zeit und der Temperaturerniedrigung. Diese Anschauung wird noch durch manche andere Erscheinungen und Analogien unterstützt.

Durch Arndsen [1]) ist nachgewiesen und anderseitig mehrfach constatirt, dass der Leitungswiderstand eines reinen festen Metalles nahe geradlinig vom absoluten Nullpunkte der Temperatur bis in die Nähe seines Schmelzpunktes steigt. Man kann dies auch so ausdrücken, dass der specifische Leitungswiderstand eines reinen, festen Metalles der absoluten Wärmemenge äquivalent ist, welche das Metall enthält. Einfache Metalle in festem Zustande können demnach keine latente Wärme enthalten, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass gerade hierin

[1]) Pogg. Ann. Bd. 104, S. 1 u. Bd. 105, S. 148.

die Bedingung der metallischen Leitung zu suchen ist. Durch Matthiessen[1]) ist nämlich für Kalium und Natrium, durch mich[2]) für Zinn direct, für Kupfer, Silber und Zink indirect nachgewiesen, dass durch Aufnahme der latenten Schmelzwärme eine sprungweise Erhöhung des Leitungswiderstandes eintritt. Diese Erhöhung beginnt schon in geringem Masse vor der Schmelztemperatur und dauert nach Eintritt des flüssigen Zustandes noch fort — was man vielleicht durch eine schon beginnende und noch nicht ganz vollendete Schmelzung erklären kann. — Nach meinen früheren Versuchen, die für das Zinn in Fig. 37 graphisch dargestellt sind, würde die Widerstandszunahme des Zinns nach Aufnahme der latenten Schmelzwärme etwa der durch eine Temperaturzunahme um ca 511 ^{0} C. hervorgerufenen entsprechen. Rudberg[3]) giebt die latente Schmelzwärme des Zinns auf 13,314, Person[4]) auf 14,25 an. Nimmt man die specifische Wärme des Zinns zu 0,051 an, so würde die absolute Wärmemenge des Zinns in der Nähe seines Schmelzpunktes ca. 25,3 Wärmeeinheiten betragen, wenn man die Veränderung der specifischen Wärme in der Nähe des Schmelzpunktes ausser Betracht lässt, und die durch den Schmelzvorgang hinzutretende Wärmemenge dürfte nur einer Temperaturerhöhung von 259 ^{0} entsprechen. Hiernach vergrössern beim Zinn latente und freie Wärme den Leitungswiderstand nicht in gleichem Masse, sondern es ist der Einfluss der latenten Wärme nahe doppelt so gross wie der der freien.

Wenn es hiernach auch nicht zulässig ist, den Arndsen'schen Satz dahin zu erweitern, dass der Leitungswiderstand der reinen Metalle allgemein, also auch im geschmolzenen Zustande der absoluten Wärmemenge äquivalent ist, so bleibt es doch das am meisten charakteristische Merkmal des Metalles, dass sein Leitungswiderstand sowohl mit der Temperatur, als mit der latenten Wärme, die es aufnimmt, zunimmt. Es gilt dies auch von den Legirungen. Dass der Widerstand der sogenannten chemischen Legirungen grösser ist, wie der der gesonderten Metalle, aus denen sie bestehen, erklärt sich dadurch, dass sie beim Erstarren latente Wärme zurückbehalten, wie durch Rudberg[5]) und Andere constatirt ist.

Nimmt man die obige Definition für das Metall an, so kann man Selen und Tellur und überhaupt solche andere einfache Körper, wie die Kohle, die die Elektricität zwar ohne Zersetzung leiten, deren Widerstand aber mit steigender Temperatur abnimmt, nicht zu ihnen rechnen. Da Selen aber nach längerer Erhitzung auf 200 ^{0} bei dieser Temperatur metallisch leitet, so muss es in diesem Zustande als Metall

[1]) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 177.
[2]) Pogg. Ann. Bd. 189, S. 99.
[3]) Pogg. Ann. Bd. 19, S. 133.
[4]) Pogg. Ann. Bd. 146, S. 300.
[5]) Pogg. Ann. Bd. 121, S. 460.

angegeben werden. Die eingetretene Umwandlung kann, wie unter ähnlichen Umständen beim Phosphor, nur in einer Abgabe latenter Wärme gesucht werden. Man muss daher annehmen, dass das Selen im krystallinischen ebensowohl wie im amorphen Zustande eine allotrope Modification des metallischen, d. i. von latenter Wärme freien Selens ist, und dass es sich von den eigentlichen Metallen wesentlich dadurch unterscheidet, dass diese nur bei Veränderung ihres Aggregatzustandes, ersteres aber auch bei allen unter 200^0 liegenden Temperaturen latente Wärme aufnimmt.

Es liegt die Vermuthung nahe, dass Tellur und Kohle sich ähnlich verhalten. Vielleicht werden spätere Untersuchungen ergeben, dass auch alle die Elektricität nicht leitenden einfachen Körper allotrope Zustände ihrer, für sich nicht existenzfähigen, einfachen Radicale sind, d. i. im festen Zustande latente Wärme enthalten und aus diesem Grunde Nichtleiter der Elektricität sind, wie das amorphe Selen.

Es wird durch diese Theorie allerdings nicht direct erklärt, wie es kommt, dass die auf der Grenze zwischen Metallen und Metalloiden stehenden Körper, wie Selen, Tellur und Kohle, die Elektricität mit steigender Temperatur besser leiten, obschon die Summe der enthaltenen Wärme grösser wird. Da aber beim Selen mit steigender Temperatur offenbar die Kraft, mit welcher es die in den festen Zustand mit übergeführte latente Wäme festhält, sich vermindert, derart dass es bei 80^0 schon beginnt, einen Theil, bei 200^0 den Rest derselben abzugeben, so kann man annehmen, dass der elektrische Strom den ihm durch die latente Wärme entgegengesetzten Widerstand um so leichter überwindet, je geringer diese Kraft, mithin je höher die Temperatur ist[1]).

[1]) Der Ausdruck, dass den Körpern eine Kraft beiwohnt, mit der sie die latente Wärme mehr oder weniger festhalten, ist nur bildlich zu nehmen. Nach der mechanischen Wärmetheorie kann man sich die Erscheinung, dass Körper bei bestimmten Temperaturen Wärme aufnehmen oder frei geben — sei sie mit Aenderung des Aggregatzustandes oder der Dichtigkeit verbunden oder nicht — nur so auffassen, dass die Körperelemente in eine veränderte Lage zu einander treten, zu deren Herbeiführung mehr oder weniger innere Arbeit im positiven oder negativen Sinne verbraucht wird, die dann als verschwindende oder auftretende freie Wärme zur Erscheinung kommt. Diesen verschiedenen Molecularzuständen muss nun eine gewisse Stabilität zugeschrieben werden, die sich mit steigender Temperatur vermindert. Ist die Temperatnr erreicht, bei welcher der Zustand keine Stabilität mehr hat, so tritt eine neue Gleichgewichtslage der Körperelemente ein, die wiederum zwischen bestimmten Temperaturgrenzen stabil ist. Der metallische Zustand eines festen Körpers wäre demnach derjenige, bei dessen Herbeiführung keine Arbeit verbraucht ist — ein Zustand, welcher nur bei den Metallen stabil ist und welcher sie befähigt, die Elektricität zu leiten und zwar in der Weise, dass der Leitungswiderstand der absoluten Temperatur proportional ist.

Die elektrolytische Leitung hätte man sich danach so vorzustellen, dass die Elektricität den metallischen Molecularzustand vorübergehend herbeiführte — was sie um so leichter und vollständiger bewirken kann, je weniger stabil der vorhandene Molecularzustand ist, also je höher die Temperatur ist. Da geschmolzene Metalle

Um an der Hand dieser Anschauung die eigenthümlichen und widerspruchsvollen Erscheinungen zu erklären, welche namentlich bei Mod. II, die danach als Lösung von metallischem in krystallinischem Selen zu betrachten wäre, beobachtet wurden, muss man annehmen, dass ein wesentlicher Theil des Widerstandes des Selens in den Grenzschichten desselben an den Zuleitungsflächen seinen Sitz hat, und dass diese Grenzschichten durch den elektrischen Strom elektrolytisch verändert werden. Diese Veränderung kann unter Umständen darin bestehen, dass das metallische Selen vom krystallinischen getrennt und dadurch vorübergehend oder dauernd zerstört und in krystallinisches oder amorphes umgewandelt wird. Durch Umkehr des Stromes, durch Temperatur und Zeit, welche alle auf allmähliche Aenderung dieses wenig stabilen Zustandes einwirken, kann nachher eine Rückbildung oder anderweitige Umbildung herbeigeführt werden, durch welche die Leitungsfähigkeit sich wiederum ändert.

Eine eingehende Betrachtung und Klarstellung der speciellen Ursachen dieser Erscheinungen bedürfte weit eingehenderer und zeitraubenderer Versuche, als es mir ihnen zu widmen möglich war. Sie sind aber wenigstens in einen gewissen ursächlichen Zusammenhang gebracht, und es ist dadurch auch eine Grundlage für die Erklärung der räthselhaften Erscheinung gewonnen, dass die Leitungsfähigkeit des Selens durch Beleuchtung zunimmt, eine Erscheinung, welche die Veranlassung zu dieser Arbeit ist und ihre Fortsetzung bilden wird.

Schliesslich habe ich den HH. Dr. Frölich und Dr. Obach, welche die zahlreichen und zum Theil schwierigen und zeitraubenden Versuche ausführten, von denen nur der kleinste Theil Aufnahme in Obigem finden konnte, für ihre werthvolle Unterstützung zu danken.

die Elektricität noch metallisch leiten, so muss man annehmen, dass durch die Schmelzung der metallische Charakter der gegenseitigen Lage der Körperelemente nicht verloren geht, wie es bei den allotropen Modificationen ohne Veränderung des Aggregatzustandes der Fall ist.

Ueber die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit des Selens von Wärme und Licht.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 7. Juni.)

1877.

Am 17. Februar 1876 theilte ich der Akademie den ersten Theil dieser Untersuchung mit, welcher sich auf die Beschreibung der Veränderungen beschränkte, welche das Selen durch Einwirkung der Wärme und des elektrischen Stromes erleidet. Da es mir nicht gelungen war, den von Anderen, sowie von mir selbst früher beschriebenen Einfluss der Beleuchtung auf die elektrische Leitungsfähigkeit des Selens auch bei anderen Körpern nachzuweisen, so musste ich diese Erscheinung als eng verknüpft mit den besonderen Eigenschaften des Selens betrachten, und es erschien eine eingehendere Untersuchung derselben der einzige Weg zu sein, um eine Erklärung für diese merkwürdige Lichtwirkung zu finden.

Leider machte es mir meine Thätigkeit auf anderen Gebieten bisher unmöglich, die schon damals grösstentheils angestellten Versuche über die Lichtwirkung auf das Selen zum Abschluss zu bringen.

Inzwischen ist unter dem Titel „der Einfluss des Lichtes auf den elektrischen Leitungswiderstand der Metalle" eine Arbeit des Dr. Richard Börnstein in Heidelberg erschienen, welche die Grundlage meiner Arbeit dadurch in Frage stellt, dass Hr. Börnstein die Führung des Nachweises unternimmt, dass die Vergrösserung der Leitungsfähigkeit der Metalle durch Beleuchtung nicht auf Selen beschränkt sei, sondern auch beim Tellur, Platin, Gold und Silber und wahrscheinlich auch bei allen übrigen Metallen eintrete.

Bei meinen Versuchen über den Einfluss der Beleuchtung auf andere Metalle hatte ich zwar bei der Wahl der Methoden und Instrumente stets die grösstmögliche Empfindlichkeit angestrebt, war auch

von demselben Principe ausgegangen wie Hr. Börnstein, die beleuchtete Fläche im Verhältniss zu der Dicke möglichst gross zu machen; ich war aber doch immer von der Ansicht geleitet worden, dass eine etwaige Vergrösserung der Leitungsfähigkeit in einem gewissen Verhältnisse zur specifischen Leitungsfähigkeit des betreffenden Metalles stehen müsste. Da nun das Selen auch in der bestleitenden und zugleich lichtempfindlichsten, von mir mit Modification II bezeichneten Form noch etwa 240 000 Millionen mal schlechter leitet als Silber, so müsste eine Vergrösserung der Leitungsfähigkeit eines dünnen Metallblattes voraussichtlich auch mit wenig empfindlichen Instrumenten noch leicht zu erkennen sein, wenn die Zunahme der Leitungsfähigkeit der beleuchteten Oberfläche des Metalles von der specifischen Leitungsfähigkeit desselben abhängig war.

Anders stellt sich die Sache jedoch, wenn man annimmt, dass durch die Lichtwirkung auf der Oberfläche des Metalles eine leitende Schicht hergestellt wird, deren Leitungsfähigkeit in keinem directen Verhältniss zur specifischen Leitungsfähigkeit des beleuchteten Metalles selbst steht, also bei gut leitenden Metallen vielleicht nicht besser leitet, als die auf der Oberfläche des Selens erzeugte. Da wir die Leitungsfähigkeit der hinzugekommenen leitenden Schicht nur als Vergrösserung der Leitungsfähigkeit des beleuchteten Metalles messen können und in der Verminderung der Dicke desselben durch den zu erhaltenden Zusammenhang des Metallblattes beschränkt sind, so erreichen wir bei gut leitenden Metallen bald die Grenze der durch die empfindlichsten Messinstrumente nicht mehr zu erkennenden Unterschiede. Ein Selenplättchen z. B., wie ich sie zu meinen Versuchen und zu Selen-Photometern verwendet habe, besteht aus 11 parallelen, 0,1 mm dicken Drähten von 10 mm Länge, in 1 mm Abstand von einander, und hat dabei einen Leitungswiderstand von circa 1 Million Q. Einh. Man kann sich das Selen daher ersetzt denken durch eine, die parallelen Drähte leitend verbindende Quecksilberschicht von der Dicke x, welche durch die Gleichung gegeben ist:

$$1\,000\,000 = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{x}$$

oder

$$x = \frac{1}{1\,000\,000 \text{ Million}} \text{ oder } = \frac{1}{10^{11}} \text{ mm.}$$

Bei einer Beleuchtung, welche die Leitungsfähigkeit des Selen-Plättchens verdoppelt, würde die hinzutretende leitende Beleuchtungsschicht durch eine Quecksilberschicht von gleicher Dicke ersetzt werden können.

Das von Hrn. Börnstein zu seinen Versuchen benutzte Goldblatt, an welchem er durch die Brückenmethode eine Zunahme der Leitungsfähigkeit von 0,0001 gefunden hat, hatte einen Widerstand von 3 Q. E., eine Länge von 24 und eine Breite von 9 mm. Wenn man

daher das Goldblatt durch eine Quecksilberschicht von der Dicke y ersetzt, so hat man für y:

$$3 = \frac{24}{9y}\ 0{,}001$$

oder es ist

$$y = \frac{89}{10^5}\ \text{mm.}$$

Wenn die Leitungsfähigkeit des Goldblattes sich um 0,0001 durch Beleuchtung vergrösserte, wie Hr. Börnstein fand, so musste die hinzugekommene Beleuchtungsschicht einer Quecksilberschicht von 0,0001 dieser Dicke, also von $\frac{89}{10^9}$ mm, entsprechen; der Beleuchtungseffect war also circa 8900 mal so gross als beim Selen, wenn angenommen wird, dass die von Hrn. Börnstein benutzte Beleuchtung die Leitungsfähigkeit des Selenplättchens verdoppelt hätte! Um die Lichtwirkung auf das Selen durch eine bei allen Metallen gleiche Beleuchtungsschicht zu erklären, braucht die Leitungsfähigkeit des Börnsteinschen Goldblattes nur um $^1/_{89}$ Millionstel ihres Werthes vergrössert zu werden, eine Grösse, die sich wohl niemals auf experimentellem Wege wird nachweisen lassen. Am meisten Aussicht dazu gäbe wohl das Tellur, da dessen Leitungsfähigkeit nur 0,00042 von der des Goldes ist, falls es gelingen sollte, das Tellur in so dünnen leitenden Schichten darzustellen, wie das Goldblatt.

Die Gründe, aus welchen ich die Annahme einer auf allen Metallen auftretenden, leitenden Beleuchtungsschicht verwarf, stützen sich daher nicht auf die negativen Resultate meiner Bemühungen, die Lichtempfindlichkeit bei anderen Körpern als Selen nachzuweisen, sondern wesentlich darauf, dass die Lichtempfindlichkeit des Selens in hohem Grade abhängig ist von der Reinheit und molecularen Beschaffenheit desselben. Die geringste Verunreinigung mit anderen Metallen vermindert seine Lichtempfindlichkeit in sehr hohem Grade. Als ich dem zur Anfertigung von Selenplättchen benutzten Selen nur $^1/_2$ pCt. Silber zusetzte, war gar keine Lichtempfindlichkeit mehr wahrzunehmen. Durch zu starke Lichtwirkung, durch starke Abkühlung oder Erhitzung wird die Lichtempfindlichkeit in hohem Grade beeinträchtigt, selbst wenn keine wesentliche Veränderung der Leitungsfähigkeit des Präparates selbst eintritt. Alles dies wäre nur schwer erklärlich, wenn sich auf der Selen-Oberfläche eine leitende Schicht durch Einwirkung des Lichtes bildete, die von dem unter ihr liegenden Leiter unabhängig wäre. Es liesse sich die Entstehung einer solchen leitenden Beleuchtungsschicht überhaupt wohl nur so erklären, dass man annähme, es würden die auf der Oberfläche der Metalle condensirten Gase durch Lichtwirkung chemisch so modificirt, dass sie leitend würden, und dass nach dem Aufhören der Beleuchtung eine Rückbildung in den nicht

leitenden Zustand einträte. Dann müsste aber eine an Glas oder Glimmer durch Schmelzung fest anliegende Selenschicht gar keine oder doch nur eine weit geringere Lichtempfindlichkeit zeigen, als eine der Luft ausgesetzte; dies ist jedoch nicht der Fall, wie schon aus der Construction meiner lichtempfindlichen Selen-Präparate sich ergiebt, die zwischen Glimmerplatten eingeschmolzen werden.

Wenn ich aber durch diese Betrachtungen auch in der Ansicht bestärkt wurde, dass die Lichtempfindlichkeit eine specifische Eigenschaft bestimmter Selen-Modificationen sei und bei anderen Körpern nicht vorkomme, so erschien es mir doch durchaus nicht unmöglich, dass empfindlichere Methoden und Instrumente, als ich sie benutzte, eine Lichtempfindlichkeit auch bei anderen Metallen nachweisen könnten. Das Experiment konnte hier allein entscheiden.

Bei der Arbeit des Hrn. Börnstein waren mir, ausser einigen missverstandenen Anführungen aus meiner Untersuchung, auf die ich später zurückkomme, von vorn herein einige seiner Resultate sehr auffallend. Einmal findet er bei Platindrähten von 0,00022 mm Dicke eine noch etwas grössere Zunahme der Leitungsfähigkeit wie bei einem Goldblatte von $\frac{19}{\text{Million}}$ mm Dicke, obgleich die Verhältnisse der Projection der beleuchteten Fläche zum Querschnitte des Metalls in beiden Fällen sich wie 2348 : 1 verhält. Wäre dies richtig, so müsste die lichtempfindliche Schicht beim Platin über 2000 mal besser leiten, als beim Golde, was jedenfalls nicht wahrscheinlich erscheint. In gleichem Grade auffällig ist die überraschend grosse Verschiedenheit der Lichtempfindlichkeit, welche sich durch Messung mittelst der Brücken- und der Weber'schen Dämpfungsmethode ergiebt. Während die Brückenmessung eine Vermehrung der Leitungsfähigkeit von etwa 0,01 pCt. nachwies, ergab die Dämpfungsmethode unter ähnlichen Verhältnissen eine Vergrösserung der Leitungsfähigkeit von 3 bis 5 pCt., dieselbe war also in diesem Falle 300 bis 500 mal so gross, als im ersten. Hr. Börnstein vermuthet, dass diese grosse Verschiedenheit seiner Messresultate davon herrührt, dass die durch den schwingenden Magnetstab in den Drahtwindungen erzeugten Ströme sehr viel schwächer gewesen seien, als die des Leclanché'schen Elementes, mit dem er die Brückenmessungen ausführte, und begründet hierauf den Satz, dass „die vom elektrischen Strome erzeugte Verminderung der Leitungsfähigkeit (die er als elektrische Nachwirkung bezeichnete) begleitet sei von einer Abnahme der Lichtempfindlichkeit“. Wie gross die elektromotorischen Kräfte waren, welche von den schwingenden Magnetstäben in den Windungen erzeugt wurden, mag dahingestellt bleiben, da eine Berechnung nicht ausführbar ist, weil die bezüglichen Angaben des Hrn. Börnstein nicht vollständig genug sind. Jedenfalls widerspricht aber eine so grosse Abhängigkeit der Lichtwirkung von der Stromstärke den beim Selen gemachten Erfahrungen.

War die Ansicht des Hrn. Börnstein richtig, dass die directe Widerstandsvergleichung aus dem Grunde ein so bedeutend geringeres Resultat ergab, als die Widerstandsmessung mittelst der Dämpfungsmethode, weil die Lichtwirkung durch Erwärmung der beleuchteten dünnen Metallplatten durch den Strom und die gleichzeitig eintretende Verminderung der Lichtempfindlichkeit durch denselben verdeckt, resp. vermindert wurde, so mussten jedenfalls directe Widerstandsmessungen mit sehr geringen elektromotorischen Kräften ähnliche Resultate ergeben, wie er sie durch die Dämpfungsmethode erhielt. Ich ersetzte daher mein Galvanometer mit aperiodisch schwingendem Glockenmagnete und 8 Meter Scalenabstand, mit dem die früheren Versuche angestellt waren, durch ein Galvanometer mit einem astatischen Paare von zwei kleinen Glockenmagneten, die an einem Aluminium-Draht in einem Abstande von circa 100 mm befestigt waren. Jeder Magnet befand sich im Centrum einer Drahtspirale mit durchschnittlich 445 Windungen 1 mm dicken Drahtes von 1,84 Q. E. Widerstand. Am oberen Ende des Aluminiumdrahtes war ein Steinheil'scher leichter Spiegel von 9 mm Durchmesser befestigt, der durch ein Gehäuse mit Spiegelscheibe gegen Luftströmungen geschützt war. Durch einen in beliebiger Entfernung unter dem Magnetpaare anzubringenden, drehbaren Magnetstab liess sich dem Magnet-Systeme eine beliebige Richtkraft geben und die Einstellung auf die Mitte der, wie früher, 8 m entfernten Scala, von 1 m Länge mit Millimeter-Theilung, bewirken. Dies äusserst empfindliche Galvanometer combinirte ich mit einer Brückenverzweigung, deren vier Zweige, von denen das zu untersuchende Metallblatt den einen bildete, möglichst gleich gross und wenig verschieden von dem Widerstande des Galvanometers gemacht wurden. Zwischen die beiden veränderlichen Brückenzweige aus Neusilberdraht war ein um die Peripherie einer runden, mit Theilkreis versehenen Schieferscheibe ausgespannter Neusilberdraht von 300 mm Länge und 3 Q. E. Widerstand eingeschaltet, auf welchem sich eine Platinrolle mit Index und Nonius verschieben liess. Die Platinrolle war mit dem einen Pole eines Daniell'schen Elementes verbunden, dessen Widerstand durch Einschaltung eines Drahtwiderstandes auf 10 Q. E. gebracht wurde. Vermittelst einer Widerstandsscala konnte dies Element durch eine beliebig grosse Nebenschliessung geschlossen werden. Die in den nahe gleich grossen Brückenzweigen wirksame elektromotorische Kraft E' war dann $E \cdot \frac{w'}{w + w'}$, wenn w der Widerstand, E die elektromotorische Kraft des Elementes und w' der Widerstand der Zweigleitung war. Um die Empfindlichkeit der Messung genau controliren zu können, wurde in den das zu untersuchende Metallblatt enthaltenden Brückenzweig ein Kupferdraht von 0,001 Q. E. Widerstand eingeschaltet, der durch einen kurzen, dicken, amalgamirten

Kupferbügel mit Hülfe zweier Quecksilbernäpfchen ausgeschlossen werden konnte. War durch wiederholte kurze Schliessungen der erst schwächeren, dann bis auf die Stärke von 1 Daniell verstärkten, wirksamen Kette vollständiges Gleichgewicht hergestellt, so ergab die Ein- oder Ausschaltung des Widerstandes von 0,001 Q. E. eine Ablenkung der Nadel von circa 20 Scalentheilen; es mussten also Veränderungen der Leitungsfähigkeit eines Brückenzweiges von 0,0001 Q. E. noch mit grösster Deutlichkeit erkannt werden.

Die Objecte, welche ich prüfte, waren auf Glasplatten ausgebreitete dünne Goldhäutchen, welche an den Enden durch ausgetropftes geschmolzenes Rose'sches Metall mit Stanniolbelegungen und den Zuleitungsdrähten metallisch verlöthet waren, ferner sehr dünne, noch hell durchscheinende, auf verschiedenen Wegen hergestellte Niederschläge von Gold, Platin und Silber, die auf ähnliche Weise mit den Zuleitungsdrähten verlöthet waren, endlich möglichst dünne Plättchen von Aluminium und Tellur. Diese Präparate wurden in den betreffenden Brückenzweig eingeschaltet, während sie durch einen übergedeckten Pappkasten vor Licktwirkung geschützt waren. Nachdem das Gleichgewicht hergestellt und einige Zeit verstrichen war, wurde der Batteriecontact hergestellt und nachdem die gewöhnlich eintretende, geringe Ablenkung des Spiegels abgelesen war, der Pappkasten abgenommen. Das Metallblatt war dann der Beleuchtung durch eine in einer Laterne mit weitem Spalt aufgestellte Petroleumlampe ausgesetzt, deren Strahlen durch ein 12 cm im Durchmesser haltendes, cylindrisches und mit concentrirter Alaunlösung gefülltes Glasgefäss gingen und dadurch auf dem Metallblatte concentrirt wurden, während die Wärmestrahlen durch die Alaunlösung absorbirt wurden. Der Pappkasten wurde dann wiederholt aufgesetzt und abgenommen, während die Kette dauernd geschlossen blieb. In fast allen Fällen ergaben sich die Wirkungen einer langsam eintretenden, schwachen Erwärmung dès Metallblattes durch den Strom und die Beleuchtung, aber niemals sichere Anzeichen einer Verminderung des Leitungswiderstandes durch Lichtwirkung.

Leider zeigte sich, dass das Galvanometer nicht ruhig genug zu erhalten war, um bei dieser Empfindlichkeit zuverlässige Messungen ausführen zu können, welche die Frage entscheiden konnten, ob überhaupt eine messbare Lichtwirkung auf andere Metalle, als Selen stattfindet. Weder das Galvanometer selbst war vor äusseren Strömungen ausreichend zu schützen, noch waren die Thermoströme, die bei so geringen Widerständen und elektromotorischen Kräften ohne besondere Vorkehrungen sehr störend auftreten, hinlänglich auszuschliessen.

Ein gleiches negatives Resultat erhielt ich bèi einer anderen Anordnung meiner Versuche. Es wurde das zu untersuchende Metallblatt direct in den Galvanometer-Kreis eingeschaltet. Wurde der Kreislauf mit einer wirksamen elektromotorischen Kraft E' von 0,01 Daniell

geschlossen, so ging der Spiegel über die Scala weg. Durch einen in geeigneter Weise dem Galvanometer genäherten Magnetstab wurde er darauf wieder auf die Mitte der Scala zurückgeführt. War dies einmal eingestellt, so stellte sich auch nach längerer Ruhe beim Schliessen der Kette das Fadenkreuz meines Fernrohrs bei der vollkommenen Aperiodicität des Galvanometers ohne Schwankungen auf einen Theilstrich der Scala ein. In diesem Momente wurde durch einen Gehülfen der Pappkasten abgenommen und dadurch die Metallplatte beleuchtet. Auch hierbei war bei allen oben erwähnten Metallblättern keine unzweifelhafte Lichtwirkung zu erkennen, obgleich eine Verminderung des Widerstandes um 0,0001 noch mit grösster Deutlichkeit hätte hervortreten müssen. Wäre Hrn. Börnstein's Annahme richtig, dass durch Verminderung der elektromotorischen Kraft eine so bedeutende Vergrösserung der Lichtwirkung eintritt, als er sie bei Anwendung der Dämpfungsmethode gefunden hat, so hätte dieselbe bei Anwendung von 0,01 Daniell doch schon in einem beträchtlich höheren Grade hervortreten müssen als bei Anwendung von 1 Leclanché-Element, welches er bei der Brückenmessung benutzte.

Ich musste aus den schon erwähnten Gründen darauf verzichten, die Empfindlichkeit der benutzten Galvanometer noch weiter zu steigern, und konnte nur noch versuchen, die etwa vorhandene Lichtwirkung durch Herstellung möglichst dünner und dabei sicher leitender Metallblätter noch zu verstärken. Es gelang in der That mit Hülfe bekannter Methoden, äusserst dünne, noch leitende Metallbeläge auf Glasplatten herzustellen und mit sicheren Zuleitungen zu versehen. Letzteres gelang nur auf die Weise vollständig, dass der mit dem dünnen Metallbelage versehene Glasstreifen in einer Lösung von unterschwefligsaurem Silber oder Gold galvanisch versilbert oder vergoldet wurde, wobei ein Querstreifen durch eine Lackschicht, die man später durch Alkohol oder Aether entfernte, vor der Versilberung geschützt wurde. Es gelang auf diese Weise, eine noch gut leitende Goldschicht herzustellen, die im reflectirten Lichte als schöner Goldspiegel erschien, das Tageslicht aber nicht mehr in grüner, sondern in hellblauer Farbe durchscheinen liess. Der Widerstand dieses 15 mm langen und 10 mm breiten Goldspiegels betrug nach wiederholten und constant bleibenden Messungen 7000 Q. E. Danach würde die Dicke der Goldschicht, wenn man die Leitungsfähigkeit des Goldes = 34 setzt — die des reinen Quecksilbers = 1 angenommen — 0,0000000063 mm betragen haben, falls eine so dünne Schicht ebenso leitet wie eine dickere Metallmasse[1]). Auch mit diesem Präparate konnte ich keine Lichtwirkung wahrnehmen, obschon ich des grossen Widerstandes wegen mein Galvanometer mit 40 000 Drahtwindungen aus dünnem Drahte von

[1]) Letzteres ist in Wirklichkeit schon desshalb nicht anzunehmen, weil die Oberfläche nicht spiegelnd, also rauh ist.

7613 Q. E. Widerstand versehen und dadurch seine Empfindlichkeit sehr bedeutend gesteigert hatte. Bemerkenswerth ist aber, dass der Widerstand dieser so äusserst dünnen Goldschicht bei Anwendung einer elektromotorischen Kraft von 0,01 Daniell noch durchaus constant war und die von Hrn. Börnstein gefundene Nachwirkung des Stromes nicht zeigte.

Da mir daran lag, meine negativen Versuchsresultate einer Controle durch andere Experimentatoren zu unterwerfen, und es mir auch von Wichtigkeit schien, durch Anwendung weit empfindlicherer Methoden, als Hr. Börnstein und ich selbst sie anwenden konnten, zu untersuchen, ob überhaupt eine Lichtwirkung bei anderen Metallen als Selen nachzuweisen ist, so veranlasste ich meinen Freund Gustav Hansemann, in seinem zur Untersuchung von schwachen Thermo-Strömen eingerichteten Laboratorium eine Untersuchung der Sache vorzunehmen. Im Hansemann'schen Laboratorium ist durch eine Wand aus dicken Spiegelglasscheiben, die den Beobachter von den Instrumenten trennt, ein relativ dunkler Raum abgeschieden, in welchem die Instrumente aufgestellt sind, so dass alle Luftströmungen und sonstige Ursachen localer Temperaturänderungen vermieden werden. Die nöthigen Bewegungen werden durch Schnüre, die durch die Glaswand gehen, ausgeführt. Dies und die grosse Empfindlichkeit seines Spiegelgalvanometers mit Drahtwindungen von 0,5 Q. E. Widerstand machte es ihm möglich, als Elektromotor ein Eisenkupfer-Thermo-Element anzuwenden, welches eine constante elektromotorische Kraft von nahe 0,001 Daniell gab, wenn die eine Löthstelle durch kochendes Wasser, die andere durch einen Strom von Wasserleitungswasser auf constanter Temperatur erhalten wurde. Bei dieser geringen elektromotorischen Kraft konnte von einer Verdeckung der Lichtwirkung durch Erwärmung des Metallblattes und durch Nachwirkung des Stromes gar nicht mehr die Rede sein und es war anzunehmen, dass die von Hrn. Börnstein mit Anwendung der Dämpfungsmethode gefundenen, 3 bis 500 mal grösseren Beleuchtungswerthe jetzt sicher hervortreten würden, wenn sie nicht auf Selbsttäuschung beruhten. Da Hr. Hansemann seine Versuche in einem dieser Abhandlung angeschlossenen Aufsatze selbst beschrieben hat, so will ich hier nur hervorheben, dass derselbe ebenso wenig als ich einen Einfluss des Lichtes zu finden vermochte. Auch die Dämpfungsmethode, mit welcher Hr. Hansemann die Börnstein'schen auffallenden Versuchsresultate mit Hülfe eines passend scheinenden Spiegelgalvanometers, welches ich ihm hierzu zur Verfügung gestellt hatte, zu reproduciren suchte, ergab bei Anwendung der nöthigen Vorsicht gegen Auftreten von Thermoströmen und anderen Störungen kein positives Ergebniss.

Welches die Ursachen der abweichenden Versuchsresultate des Hrn. Börnstein sind, lässt sich nicht beurtheilen, da die Versuche desselben hierzu nicht eingehend genug beschrieben sind. Bei derartigen

Messungen, welche die höchste Empfindlichkeit der Instrumente beanspruchen, treten leicht Störungen mit einer gewissen Constanz auf, und es ist immer etwas gewagt, neue Fundamentalerscheinungen ausschliesslich auf Mittelwerthe zu basiren, namentlich dann, wenn das Ergebniss noch weit innerhalb der Fehlergrenzen der einzelnen Versuche liegt, wie es bei den Börnstein'schen Versuchen der Fall ist.

Nach Obigem kann ich die Schlussfolgerungen, die Hr. Börnstein aus seinen Versuchen zieht, nicht anerkennen, muss im Gegentheil bei meiner Ansicht stehen bleiben, dass eine Lichtwirkung bei anderen Metallen als beim Selen mit den bisherigen Hülfsmitteln nicht nachzuweisen ist.

Ich will damit nicht die Möglichkeit in Abrede stellen, dass dies künftig mit sehr verfeinerten Messmethoden noch geschehen kann, und dass dann auch die Lichtwirkung auf das Selen durch diese verallgemeinerte Wirkung des Lichtes zu erklären wäre, glaube aber nicht, dass wir berechtigt sind, dieselbe als bestehend anzunehmen, bevor sie nicht durch unzweifelhafte Versuche nachgewiesen ist. Bis dahin müssen wir die Lichtwirkung auf das Selen als dem Selen ausschliesslich zukommend ansehen und versuchen, in den besonderen Eigenschaften desselben eine Erklärung für diese Lichtwirkung zu finden.

Bevor ich hierzu übergehe, muss ich noch kurz auf einige Anführungen des Hrn. Börnstein aus meiner der Akademie mitgetheilten Untersuchung über das Verhalten des Selens gegen Wärme und den elektrischen Strom zurückgehen.

Hr. Börnstein hat wiederholt Angaben, die sich nur auf den gerade besprochenen Versuch bezogen, als allgemein gültige Versuchsresultate angeführt. So ist der mir zugeschriebene Satz, dass mit der Dauer der Erhitzung des amorphen Selens die Leitungsfähigkeit, aber nicht die Lichtempfindlichkeit wachse, in dieser Allgemeinheit nicht richtig. Ebenso ist es nicht richtig, dass sich stets ein Polarisationsstrom zeigt, als Folge anhaltender Ströme durch das Selen. Ich habe im Gegentheil bestimmt ausgesprochen, dass dieser nur in exceptionellen Fällen, bei starken Strömen und frisch hergestellten Selenplättchen der gut leitenden Modification II nachweisbar sei, und dass in den meisten Fällen auch mit den empfindlichsten Hülfsmitteln keine Polarisation zu finden sei. Ich erklärte diese Polarisation als eine Elektrolyse der Berührungsfläche zwischen dem Selen und den dasselbe begrenzenden Leitern. Die Lichtempfindlichkeit des Tellurs nimmt Hr. Börnstein als Thatsache an, ohne sie selbst untersucht zu haben, obgleich ich sie bestimmt in Abrede gestellt habe. Er stützt sich dabei ausschliesslich auf den gelegentlichen Versuch des Hrn. Adams, der an einem 1 Zoll langen Tellurstabe eine Lichtwirkung zu erkennen glaubte.

Da das Tellur nach Matthiessen ca. 2400 mal so grossen speci-

fischen Leitungswiderstand hat, als Gold, und ausserdem viele physikalische Eigenschaften mit dem Selen gemein hat, so ist es gar nicht unwahrscheinlich, dass das Tellur unter Umständen lichtempfindlich ist. Sein specifischer Leitungswiderstand ist aber immer erst circa 1 Millionstel von dem des Selens, und da es seiner Sprödigkeit wegen bisher nicht in die Form so dünner Blätter gebracht werden kann, als die ductilen Metalle, so wird seine Lichtempfindlichkeit unter gewöhnlichen Umständen schwerlich nachweisbar sein. Mir ist dieser Nachweis auch mit circa 0,01 mm dicken Platten, die zwischen erwärmten Glasplatten aus geschmolzenem Tellur durch starken Druck ausgepresst waren, nicht gelungen.

Bereits in meiner vorläufigen Mittheilung an die Akademie von 1875 habe ich angegeben, dass die Zunahme der Leitungsfähigkeit des Selens durch Beleuchtung im annähernden Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Lichtstärken stehe. Bevor ich zur näheren Untersuchung dieser Frage überging, suchte ich mich erst zu vergewissern, dass gleiche Lichtstärken gleichfarbigen Lichtes bei demselben Selenpräparate unter sonst gleichen Verhältnissen auch sicher die gleiche Lichtwirkung zeigten. Es sollten diese Versuche zugleich die Frage entscheiden, ob das Selen sich zur Herstellung eines brauchbaren Photometers eignete, das dann vor den bisher benutzten den grossen Vorzug haben würde, dass es frei von den bei photometrischen Messungen so störenden persönlichen Fehlern des Beobachters sein und auch für den Vergleich verschiedenfarbigen Lichtes bestimmte Zahlenwerthe geben würde.

Die zu diesen Versuchen benutzten Selenpräparate waren dieselben, wie ich sie in dem ersten Theile dieser Untersuchung beschrieben habe. Sie bestanden aus zwei 0,05 bis 0,10 mm dicken Platin-, Stahl- oder Kupferdrähten, die von einander isolirt auf einem Glimmerblättchen so befestigt waren, dass ein Zwischenraum von 0,5 bis 1 mm zwischen den Drähten frei blieb. Die Befestigung geschah auf die Weise, dass das Glimmerblatt mit zwei Reihen feiner Löcher im Abstande von ca. 10 mm von einander versehen wurde. Durch diese Löcher wurden die Drähte gezogen und die Enden so verbunden, dass ein Drahtgitter auf der Oberfläche des Glimmerblattes entstand, dessen Drähte abwechselnd mit dem einen oder anderen der beiden Zuleitungsdrähte verbunden waren. Auf dies Gitter wurde nun eine etwa 1/2 mm dicke Platte amorphen Selens gebracht, darauf eine zweite Glimmerplatte auf dieselbe gelegt und diese mit der ersten Glimmerplatte fest verbunden. Darauf wurde das Ganze zwischen zwei kleine Metallplatten mit elastischem Drucke eingesperrt und dann mit diesen in ein Paraffinbad getaucht, welches auf eine Temperatur von 200° bis 210° C. gebracht war, und in dieser Temperatur mehrere Stunden lang durch einen passenden Wärmeregulator erhalten wurde. Nach eingetretener Abkühlung

hatte das Plättchen dann in der Regel einen Leitungswiderstand von 500 000 bis 1 500 000 Q. E. und eine Lichtempfindlichkeit, die einer Vergrösserung der Leitungsfähigkeit durch diffuses Tageslicht um 0,2 bis 0,5 entsprach; Lichtempfindlichkeit und Leitungsfähigkeit pflegten nach etlichen Tagen etwa auf die Hälfte zurückzugehen. Ein solches Selenplättchen wurde nun auf dem Boden eines etwa 30 mm weiten und 60 mm langen Metallrohres befestigt, und die Zuleitungsdrähte mit ausserhalb desselben angebrachten isolirten Klemmen verbunden. Das Rohr selbst war um eine verticale Axe drehbar, so dass man das Selenplättchen durch Drehung des Rohres schnell und sicher von einer Lichtquelle auf die andere richten konnte. An dem Gestelle, welches die Axe trug, war ein 1 m langer Holzstab mit Millimetertheilung so befestigt, dass die Axe mit dem Beginn der Theilung zusammenfiel. Auf dem Holzstabe war ein Lichthalter mit Index verschiebbar, der zur Aufnahme der Normalkerze bestimmt war, die zum Vergleiche der gemessenen Lichtquelle diente.

Zur Ausführung der Messung wurde der Apparat so aufgestellt, dass der Massstab mit der Normalkerze einen rechten Winkel mit der zu messenden Lichtquelle bildete, so dass man durch schnelle Drehung des Rohres von einem Anschlage zum anderen das Selen ohne wesentlichen Zeitverlust der Einwirkung der einen oder der anderen Lichtquelle aussetzen konnte. Die Contact-Klemmen des Rohres wurden dann in Verbindung mit den Zuleitungsröhren eines empfindlichen Galvanometers gebracht, in welche durch einen Contactgeber eine passende galvanische Kette eingeschaltet werden konnte. Je nach der Lichtempfindlichkeit des Selenplättchens und der Empfindlichkeit des Galvanometers wurden 1 bis 10 Daniell'sche Elemente, unter Umständen auch noch stärkere Batterien eingeschaltet. Es wurden nun zuerst 4 Normalkerzen in einer Entfernung von 100 cm vom Selenplättchen neben einander aufgestellt und die auf dem Schieber befindliche Normalkerze so lange genähert, bis beim schnellen Wechsel des Selenrohres von einer Lichtquelle zur anderen keine dauernde Aenderung der Ablenkung des Spiegels mehr eintrat, wenn auch der kurze Moment der Dunkelheit während des Ueberganges des Rohres aus einer Stellung in die andere stets ein kurzes Zurückzucken des Spiegels bemerkbar machte. Die Stellung des Index ergab eine Entfernung der Normalkerze von 49,1 cm anstatt 50, die es nach dem umgekehrten Quadrate der Entfernung hätte zeigen müssen. Der Grund dieser Verschiedenheit lag ersichtlich in der verstärkten Flamme der vier neben einander stehenden Kerzen durch gegenseitige Erwärmung.

Bei einem weiteren Versuch wurde eine sehr gleichmässig brennende Petroleumlampe, welche in einem geschlossenen, inwendig geschwärzten Gehäuse mit Blendung aufgestellt wurde, in verschiedenen Entfernungen

mit der Normalkerze verglichen, deren Flammenhöhe durch häufiges Putzen des Dochtes auf 24 mm Höhe erhalten wurde.

Entfernung der Lampe in cm.	100	150	200	250	300
Entfernung der Normalkerze bei gleicher Ablenkung des Spiegels.	33,7	51,4	69,3	81,0	92,6
Berechnete Lichtstärke der Lampe in Normalkerzen.	8,8	8,5	8,3	9,5	10,5

Die Abweichungen der berechneten Lichtstärken sind durch die unvermeidlichen Schwankungen der Helligkeit der Normalkerze erklärlich. Bei den grösseren Entfernungen macht sich die Beleuchtung der Zimmerwände durch die offen brennende Normalkerze, durch welche der Beleuchtungswerth der letzteren erhöht wurde, sehr bemerklich.

Um diesen Uebelstand zu beseitigen, wurden zwei mit Gehäusen versehene Petroleumlampen in verschiedenen Entfernungen aufgestellt und die Entfernung der einen so lange geändert, bis Gleichgewicht eintrat.

Entfernung in Metern der		Verhältniss der Quadrate der Entfernungen	Differenz
englischen Petroleumlampe mit Doppelflamme im Gehäuse	Petroleumlampe im Gehäuse		
6	1,890	10,07	+ 0,09
5,5	1,775	9,58	— 0,40
5	1,615	9,60	— 0,38
4,5	1,495	10,10	+ 0,12
4	1,290	9,60	— 0,38
3,5	1,090	10,50	+ 0,52
3	0,930	10,40	+ 0,42
		Mittel 9,98	

Unzweifelhaft würde die Anwendung grösserer Sorgfalt auf diese Versuche zu weit übereinstimmenderen Resultaten führen. Es genügte mir hier, durch die Versuche den Nachweis zu führen, dass das Selen-

Photometer auch ohne Anwendung besonderer Sorgfalt hinreichend genaue Vergleichsresultate giebt, um in der Technik als praktisch brauchbares Photometer verwendet werden zu können.

Bei Beginn meiner Versuche mit dem Selen hoffte ich, dass sich mit Hülfe desselben ein Photometer construiren lassen würde, welches directe Angaben der Lichtstärke geben könne, und bemühte mich, zu dem Ende bestimmte Relationen zwischen der Lichtstärke und der Zunahme der Leitungsfähigkeit des Selens zu finden. Es zeigte sich jedoch, dass die Leitungsfähigkeit desselben von zu vielen, nicht controlirbaren Factoren abhängt, um direct als Mass der Beleuchtung benutzt werden zu können. Namentlich tritt die Dauer der Beleuchtung, ebenso wie die Lichtstärke, als ein wirksamer Factor auf. Bei Modification I bewirkt andauernde Beleuchtung eine fortschreitende Vergrösserung der Leitungsfähigkeit, während bei Modification II die Leitungsfähigkeit schon nach kurzer Zeit, oft schon nach 5 bis 10 Secunden ihr Maximum erreicht und dann erst schneller, dann langsamer, wieder abnimmt.

Diese Eigenschaft der Vergrösserung oder Verminderung der Leitungsfähigkeit durch die Dauer der Beleuchtung tritt bei verschiedenen Selen-Präparaten in sehr verschiedener Stärke auf. Je sorgfältiger man verhindert hat, dass das Selen sich bei seiner Umwandlung aus dem amorphen in den krystallinischen Zustand über 100° C. erhitzt, desto geringer ist seine Leitungsfähigkeit, und desto langsamer steigt dieselbe durch die Dauer der Beleuchtung. Das in der ersten der folgenden Versuchsreihen, die mit *A* bezeichnet ist, benutzte Selenplättchen war durch Eintauchen in ein auf 100° C. erhitztes Petroleumbad umgewandelt, während das zu der mit *B* bezeichneten Versuchsreihe benutzte Plättchen langsam mit seinem Petroleumbade bis 100° C. erhitzt und dann mehrere Stunden in dieser Temperatur erhalten wurde. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass durch eine, vor der Diaphragma-Oeffnung einer hellbrennenden Petroleumlampe aufgestellte Linse ein ca. 14 mm grosses, scharfes Lichtbild auf das Selenplättchen geworfen wurde. Durch einen mit Alaunlösung gefüllten, 3,5 cm dicken Glastrog wurden dunkle Wärmestrahlen möglichst absorbirt. Der elektrische Strom ging nur während der Messung und nur so lange durch das Selen-Präparat, bis der Spiegel des aperiodisch schwingenden Galvanometers seine Ruhelage erreicht hatte.

Am folgenden Tage hatten beide Plättchen im Dunkeln nahe dieselbe Leitungsfähigkeit wie vor dem Versuche. Wie ersichtlich, tritt die Lichtwirkung bei dem viel schlechter im Dunkeln leitenden Selenplättchen der zweiten Versuchsreihe viel langsamer ein, so dass sie erst nach Verlauf von 6 Stunden ihr Maximum erreichte. Die grossen Unregelmässigkeiten sind wahrscheinlich Folge verschiedener Tempe-

ratur. Die Zimmertemperatur war während des Versuches von 21 auf 25° C. gestiegen.

Tabelle A. (Mod. I.)

Die Messungen sind mit 12 Daniell'schen Elementen ausgeführt, welche vor Eintritt der Beleuchtung eine Ablenkung von 92 Scalentheilen hervorbrachten.

Nach Minuten	0	2,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Ablenkung	92	112	132	152	162	167	173	177	180	183	185	187	189	190
Lichtwirkung		20	40	60	70	75	81	85	88	91	93	95	97	98
Differenzen			40	20	10	5	6	4	3	3	2	2	2	1

Tabelle B. (Mod. I.)

Die Messungen sind mit 50 Daniell'schen Elementen ausgeführt.

Zeit	0	5′	10′	15′	30′	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	7^h 30
Ablenkung	160	162	167	173	191	196	200	212	228	235	244	235	229
Lichtwirkung		2	7	13	31	36	40	52	68	75	84	75	69
Differenzen						36	4	12	17	6	9	−9	−7

Ein ganz verschiedenes Verhalten zeigt nun bei dauernder Beleuchtung das Selen, welches bei einer Temperatur von 200° bis 210° in krystallinisches umgewandelt und dabei längere Zeit in dieser Temperatur erhalten ist. Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Messungen sind in oben beschriebener Weise mit einem Plättchen der Mod. II ausgeführt. Es wurde 1 Daniell dazu verwendet und dasselbe jedesmal so lange eingeschaltet, bis die Ablenkung ihr Maximum erreicht hatte, was nach etwa 10 Secunden der Fall war. Das unbeleuchtete Selenplättchen gab eine Ablenkung von 35 Scalentheilen.

Tabelle C. (Mod. II.)

Dauer der Beleuchtung	Ablenkung durch Beleuchtung	Differenzen	Dauer der Beleuchtung	Ablenkung durch Beleuchtung	Differenzen
10″	148	148	0^h 40′	76	−2
0^h 5′	117	−31	0^h 45′	74	−2
0^h 10′	104	−13	0^h 50′	72	−2
0^h 15′	96	−8	0^h 55′	70	−2
0^h 20′	90	−6	1^h	69	−1
0^h 25′	86	−4	1^h 5′	68	−2
0^h 30′	82	−4	1^h 10′	66	−1
0^h 35′	78	−4	1^h 15′	65	−1

Nach mehrstündiger Dunkelheit ging die Ablenkung auf 32 Scalentheile zurück.

Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, dass die beiden Modificationen des Selens sich einmal durch sehr verschiedene Leitungsfähigkeit, hauptsächlich aber dadurch unterscheiden, dass die Mod. II schon nach Verlauf weniger Secunden, das bei niedriger Temperatur umgewandelte Selen aber erst nach längerer Zeit das Maximum seiner Leitungsfähigkeit erreicht. Ist dies Maximum erreicht, so beginnt die Lichtwirkung sich wieder zu vermindern — ein Vorgang, den man als Ermüdung des Selens bezeichnen kann — und nähert sich asymptotisch bei Mod. II einem Minimum. In wie weit dieser Rückgang auch bei Mod. I eintritt, ist nicht untersucht worden; es scheint aber die Abnahme der Lichtwirkung nach Ueberschreitung des Maximums einen ebenso langsamen Verlauf zu haben, als das Ansteigen bis zum Maximum.

Dieser bei jedem Selen-Präparate verschiedene Einfluss der Beleuchtungsdauer auf die Grösse der Lichtwirkung macht es, wie schon gesagt, schwierig, bestimmte Relationen zwischen der Lichtstärke und der Lichtwirkung festzustellen. Die zahlreichen und vielseitigen Versuche, welche ich hierüber angestellt habe, gaben keine hinreichend übereinstimmenden Resultate. Sie ergaben nur, dass die Lichtwirkung in noch geringerem Masse als die Quadratwurzeln aus den Lichtstärken zunimmt. Die Versuche wurden einmal in der Weise angestellt, dass zwei constante Lichtquellen in verschiedenen Entfernungen in auf- und absteigender Reihe verglichen wurden. Ferner wurde vor die grosse, helle Flamme einer englischen Lampe mit doppeltem, flachem Dochte ein verschiebbares, dünnes Blech mit Löchern, die möglichst genau 1, 2, 3 bis 6 mm Durchmesser hatten, gesetzt, und das Selenpräparat wiederholt in auf- und absteigender Reihe nacheinander der Bestrahlung durch diese Löcher ausgesetzt. War das quadratische Gesetz richtig, so musste die Lichtwirkung dann den Durchmessern der Löcher proportional sein. Die übereinstimmendsten und zuverlässigsten Resultate gab eine dritte Methode, die darin bestand, dass ein Lichtbündel durch ein Doppelprisma in zwei Lichtbündel zerlegt und das Selenplättchen abwechselnd dem einen oder anderen Strahlenbündel allein oder beiden zugleich ausgesetzt wurde. Es wurde zu diesen Versuchen die erwähnte Petroleumlampe mit doppeltem Flachbrenner mit einem Diaphragma von 2 mm Durchmesser benutzt Im Dunkeln gab das Selen mit 4 Daniell'schen Elementen eine Ablenkung von 50 Scalentheilen.

	Ablenkung bei Beleuchtung	Lichtwirkung	Mittel der Lichtwirkung
Linker Strahl	103,5 102,5 100,0	53,5 52,5 50,0	52,0
Rechter Strahl	103,0 101,5 99,5	53,0 51,5 49,5	51,3
Beide Strahlen	112,5 114,0 114,0	62,5 64,0 64,0	63,5

Also Mittel der Ablenkung durch einen Strahl = 51,7,
Mittel der Ablenkung durch den Gesammtstrahl = 63,5,
was nahe dem Verhältnisse der Kubikwurzeln aus den Lichtstärken entspricht. Wie schon bei der Besprechung der Arbeit des Hrn. Börnstein hervorgehoben wurde, lässt sich die auffallende Erscheinung, dass das Licht die elektrische Leitungsfähigkeit des Selens vergrössert, bisher nur bei diesem nachweisen, und erscheint es daher nicht zulässig, zur Erklärung desselben dem Lichte eine neue Eigenschaft beizulegen, welche mit den bisher beobachteten in keiner Verbindung steht. Jedenfalls würde dies erst dann zulässig sein, wenn die besonderen Eigenschaften des Selens gar keine Handhabe dafür darböten, diese Erscheinung auf die bekannten Eigenschaften des Lichtes zurückzuführen. Das in meinem früheren Aufsatze beschriebene besondere Verhalten des Selens gegen Wärme und den elektrischen Strom und das oben auseinandergesetzte Verhalten desselben bei eintretender Beleuchtung seiner Oberfläche gestatten jedoch, die Lichtwirkung auf das Selen als eine der bekannten chemischen Wirkung der Lichtstrahlen ganz analoge Erscheinung aufzufassen.

Wie schon gesagt, kann man das krystallinische Selen, welches durch Erwärmung des amorphen Selens auf 100° C. unter Abgabe latenter Wärme sich bildet, ebenso wie das amorphe als eine allotrope Modification des hypothetischen metallischen, d. h. von latenter Wärme freien Selens betrachten. Erhitzt man amorphes Selen auf 200°, anstatt auf 100° C. und erhält es längere Zeit auf dieser Temperatur, so giebt es mehr latente Wärme ab, als bei Erhitzung auf 100°, und leitet dann im abgekühlten Zustande die Elektricität so wie die wirklichen Metalle, d. i. in der Weise, dass die Leitungsfähigkeit mit steigender Temperatur abnimmt, während sie bei dem bei 100° C. umgewandelten krystallinischen Selen, wie bei der Kohle, mit steigender Temperatur zunimmt. Dabei leitet die erstere, von mir mit II bezeichnete Modification sehr viel besser als die letztere, von mir I genannte Modification [1]).

Man kann sich nun die Modification II als eine Mischung oder Verbindung von krystallinischem und metallischem Selen vorstellen. Eine vollständige Umwandlung in metallisches Selen ist nicht möglich, da das letztere im reinen Zustande bei gewöhnlicher Lufttemperatur

[1]) Um diese rein zu erhalten, muss man das amorphe Selen in dünnen Platten in Steinöl oder einer anderen Wärme leitenden Flüssigkeit auf circa 100° C. erhitzen und längere Zeit in dieser Temperatur erhalten. Braucht man diese Vorsicht nicht, so erhitzt sich das in dickere Stücken umgewandelte Selen durch Abgabe latenter Wärme dermassen, dass schon eine weitere Abgabe von latenter Wärme, also eine theilweise Umwandlung in Modification II eintritt. Es lassen sich hieraus viele scheinbare Widersprüche in den Angaben verschiedener Experimentatoren erklären.

kein stabiler Zustand ist und sich bei eintretender Abkühlung bis auf einen durch Mischung oder Verbindung mit krystallinischem Selen vor Rückbildung geschützten Rest wieder in krystallinisches Selen, unter Aufnahme latenter Wärme, zurückbildet. Ein ganz analoges Verhalten finden wir beim Ozon. Wenn man reinen Sauerstoff der Gaselektrolyse durch den von mir beschriebenen Ozon-Apparat[1]) unterwirft, so wird ein Theil des Sauerstoffs in Ozon umgewandelt. Entzieht man das gebildete Ozon durch eine eingelegte Silberplatte oder auf andere Weise fortwährend der entstandenen Mischung von Sauerstoff und Ozon, so kann man nach und nach die ganze Sauerstoffmenge umwandeln. Beseitigt man das gebildete Ozon dagegen nicht, so tritt bald die Grenze auf, wo keine weitere Ozonbildung mehr stattfindet, da nur eine bestimmte Menge Ozon durch Mischung mit unactivem Sauerstoff vor Rückbildung in diesen geschützt wird. Wahrscheinlich ist das Ozon eine „von latenter Wärme freie", allotrope Modification des Sauerstoffs und könnte als metallischer Sauerstoff bezeichnet werden ebenso wie das hypothetische metallische Selen. In diesem „von latenter Wärme freien" oder „metallischen" Zustande haben die Körper das grösste Bestreben, in chemische Verbindung mit einander zu treten, und er ist wahrscheinlich allgemein als der sogenannte active Zustand der Körper, wie er im status nascendi auftritt, zu betrachten. Da die Wärme die Stabilität der latente Wärme haltigen allotropen Zustände der Körper vermindert, so erklärt diese Anschauung auch die ziemlich allgemein beobachtete Begünstigung chemischer Umbildungen durch Erwärmung. Ebenso erklärt sie die allgemein beobachtete Thatsache, dass die eloktrolytische Leitung durch Erwärmung begünstigt wird, da man annehmen muss, dass auch die chemischen Verbindungen verschiedener Körper allotrope, latente Wärme haltige Molecularzustände annehmen, die erst in den „metallischen" Zustand zurückgeführt werden müssen, bevor sie neue Verbindungen eingehen können. Die Thatsache, dass auch einfache Körper wie Kohle, Tellur, Selen nach Art der Elektrolyten leiten, indem ihre Leitungsfähigkeit bei erhöhter Temperatur grösser wird, würde dann beweisen, dass bei dieser Leitung wirklich ein elektrolytischer Vorgang stattfindet, dass sich also an der einen Anode z. B. metallisches Selen, an der anderen eine höhere oder mehr latente Wärme enthaltende, allotrope Modification desselben abschiede, von denen wenigstens die erstere bei gewöhnlicher Temperatur im reinen Zustande nicht stabil ist, sich also nach Aufhören des Stromes oder vielleicht noch während seiner Dauer durch Wiederaufnahme latenter Wärme zurückbildet. In ähnlicher Weise hätte man sich die chemische Wirkung des Lichtes so vorzustellen, dass die Aetherschwingungen der chemischen Lichtstrahlen die

[1]) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 120.

Stabilität der „latente Wärme haltigen“ allotropen Molecularzustände aufheben und dadurch den activen oder metallischen Zustand der bestrahlten Körpermolecüle herstellen.

An der Hand dieser Theorie ist nun die Wirkung des Lichtes auf das Selen in der Weise zu erklären, dass den Lichtstrahlen, welche die Oberfläche des Selens treffen und bis zu einer gewissen, sehr geringen Tiefe in dasselbe eindringen, eine ähnliche Wirkung zugeschrieben wird, wie die höhere Temperatur sie ausübt. Sie reduciren das krystallinische Selen zu metallischem, sehr viel besser leitendem, und machen die latente Wärme des ersteren frei. Nach Aufhören der Beleuchtung bildet sich die metallische Selenoberfläche wieder in krystallinisches Selen zurück, da der metallische Zustand nur bei Beleuchtung oder bei hoher Temperatur stabil ist. Dass diese Wirkung wesentlich nur durch die dem Auge sichtbaren Strahlen des Spectrums und nicht auch durch die ausserhalb des sichtbaren Spectrums liegenden chemischen und dunklen Wärmestrahlen ausgeübt wird, ist zwar bisher nicht zu erklären. Vielleicht werden aber später eingehendere Untersuchungen den Nachweis führen, dass jedem Körper eine bestimmte Schwingungsdauer der Aetherwellen entspricht, welche bei ihm das Maximum der chemischen Lichtwirkung ausübt, oder auch, dass die Verminderung der Stabilität der allotropen Modificationen der einfachen Körper am stärksten durch Aetherschwingungen mittlerer, die der zusammengesetzten Körper mehr durch Aetherschwingungen kleiner Wellenlänge bewirkt wird.

Dass die Lichtwirkung auf die besser leitende, schon metallisches Selen gelöst haltende Mod. II weit schneller von statten geht und weit grösser ist, als auf das ungemischte krystallinische Selen, erklärt sich zum Theil dadurch, dass bei dem ersteren eine geringere Menge krystallinischen Selens zu reduciren ist, um eine leitende metallische Oberfläche herzustellen, zum Theil aber auch dadurch, dass die gut leitende Oberfläche wohl nur an wenigen Punkten mit den Zuleitungsdrähten in directer leitender Verbindung steht. Es wird fast überall vom Strome noch eine nicht in den metallischen Zustand übergeführte Selenschicht zu durchlaufen sein, von deren Leitungswiderstande die Stärke des Stromes abhängig ist.

Zur Erklärung der merkwürdigen Erscheinung der Ermüdung des Selens bei andauernder Lichtwirkung muss man annehmen, dass das krystallinische Selen in höherem Grade durchscheinend ist als das metallische. In diesem Falle wird sich die Lichtwirkung anfangs auf grössere Tiefen erstrecken und schlecht leitendes krystallinisches Selen in gut leitendes metallisches umwandeln. Sobald aber die Selenoberfläche eine zusammenhängende metallische Schicht geworden ist, so wirkt diese als ein Schirm, welcher das Licht von den anfänglich in grösserer Tiefe umgewandelten metallischen Molecülen abhält und

diesen dadurch gestattet, sich in krystallinisches Selen zurückzubilden. Bei einfach krystallinischem Selen tritt diese Ermüdung scheinbar nicht ein, im Gegentheil nimmt die Leitungsfähigkeit desselben durch Bestrahlung, wie früher nachgewiesen ist, mehrere Stunden lang zu. In Wirklichkeit tritt die vollständige Lichtwirkung aber nur sehr viel langsamer ein, da nach mehrstündiger Beleuchtung das Maximum der Lichtwirkung erreicht ist und dann ebenfalls ein Rückgang der Leitungsfähigkeit constatirt ist.

Dass die Lichtwirkung sich auf die Oberfläche und die der Oberfläche zunächst liegenden Selenschichten beschränkt, davon kann man sich leicht durch Vergleich der Lichtwirkung auf die beiden Seiten eines Selenplättchens überzeugen. Die Herstellung derselben bedingt, dass das Drahtgitter auf der einen Seite die Oberfläche des Plättchens berührt, während die andere Seite des Gitters von einer dünnen Selenschicht bedeckt ist. Wird die erstere Seite beleuchtet, so ist die Lichtwirkung 2 bis 3 mal so gross, als bei Beleuchtung der letzteren.

Es bleibt noch die verschiedene Lichtwirkung der farbigen Lichtstrahlen und der störende Einfluss derselben auf die Vergleichung verschiedenfarbigen Lichtes durch das Selen-Photometer zu erörtern.

Ich habe die Angaben Sale's bestätigt gefunden, dass die Lichtwirkung erst mit den sichtbaren violetten Strahlen des Spectrums beginnt, von da ziemlich gleichmässig bis zum Roth steigt, im Ultraroth noch vorhanden ist und durch die darüber hinaus liegenden Strahlen nicht mehr stattfindet. Die nachstehende Versuchsreihe wurde mit einem schmalen, nur aus 2 parallelen Platindrähten in 1 mm Abstand bestehenden Selenplättchen bei Anwendung von 4 Daniell'schen Elementen ausgeführt. Das Spectrum wurde durch ein Glasprima und eine hellbrennende Petroleumlampe mit Spalt hervorgebracht.

Diese ohne besondere Sorgfalt und nur zur Orientirung ausgeführte Versuchsreihe zeigt doch schon hinlänglich, dass das Selen-Photometer nicht ohne Weiteres zur Vergleichung verschiedenfarbigen Lichtes benutzt werden kann.

	Dunkel	Violett	Blau	Grün	Gelb	Roth	Ultra-roth	Dunkel
Ablenkung . . .	139	148	158	165	170	188	180	150
Lichtwirkung . .	0	9	19	26	39	49	41	11
Differenzen . . .		9	10	7	13	10	−8	−30

Es führt dies auf die Frage, was man sich bei der photometrischen Vergleichung verschiedenfarbigen Lichtes eigentlich zu denken hat. Eine Vergleichung der durch unsere Sehorgane hervorgerufenen Helligkeitsempfindung ist unausführbar und ganz individuell. Das Licht

dient uns aber auch nicht dazu, eine mehr oder weniger grosse Helligkeit zu empfinden, sondern dazu, entfernte Gegenstände deutlich unterscheiden oder erkennen zu können, und ein richtiges Photometer sollte verschiedenfarbiges Licht als gleich angeben, wenn es uns in gleicher Weise entfernte Objecte erkennbar machte. Mit der Empfindung gleicher Helligkeit fällt diese Eigenschaft durchaus nicht zusammen. Betrachtet man eine Landschaft abwechselnd durch ein blaues und ein gelbes Glas, so erscheint sie uns im letzteren Falle viel heller; aber es ist darum, wenn das gelbe Glas viel Licht absorbirte, doch nicht ausgeschlossen, dass man durch das blaue Glas die Gegenstände der Landschaft viel deutlicher erkennt.

Das blaue Licht, welches in unser Auge gelangt, hat in diesem Falle für uns einen höheren Beleuchtungswerth, wenn es auch eine geringere Helligkeitsempfindung hervorruft. Den so definirten Beleuchtungswerth des farbigen Lichtes sollte ein für praktische Zwecke dienendes Photometer angeben.

Die bisherigen Photometer, welche auf Hervorbringung gleicher Helligkeitsempfindung beruhen, sind hierfür durchaus ungeeignet. Selbst abgesehen von dem verschiedenen Beleuchtungswerthe des farbigen Lichtes, ist es nicht möglich, sich ein bestimmtes Urtheil darüber zu bilden, wenn zwei verschiedenfarbige Beleuchtungen gleich hell sind. Jedenfalls ist ein solches Urtheil ein durchaus subjectives. Das Selen-Photometer hat vor diesen Photometern nun allerdings den grossen Vorzug, dass es unzweifelhafte Angaben der Lichtwirkung des Lichtes aller Farben macht; diese Angaben sind aber nicht direct verwendbar, da das Selen von verschiedenfarbigem Lichte in verschiedenem Grade beeinflusst wird. Auch die Ermittelung und Benutzung einer Scala für die Lichtwirkung der verschiedenen Farben des Spectrums zur Correctur der Angaben des Selen-Photometers reicht nicht aus, da es durchaus nicht feststeht, welchen Beleuchtungswerth die farbigen Strahlen des Sonnenspectrums haben. Wäre aber auch eine Scala dafür ermittelt, so hätte sie doch nur einen ganz beschränkten Werth, da sie zur Vergleichung des Beleuchtungswerthes farbigen Lichtes terrestrischer Lichtquellen nicht anwendbar wäre.

Ich habe nun versucht, auf empirischem Wege eine Scala des Beleuchtungswerthes verschiedenfarbigen Lichtes, welches auf das Selen die gleiche Lichtwirkung ausübt, herzustellen.

Es wurde eine feine Druckschrift auf weissem Papier in einer Entfernung von ca. 5 Meter durch ein Fernrohr betrachtet. Eine gleichmässig und mit ziemlich weisser Flamme brennende Petroleumlampe konnte vom Beobachter durch einen Schnurlauf der Druckschrift so lange genähert werden, bis dieselbe in dem sonst dunklen Raume eben lesbar war. Dieselbe Procedur wurde wiederholt, nachdem eine farbige Glasscheibe vor die Lampe gesetzt war. War die Lampe so

weit genähert, dass die Druckschrift wieder eben lesbar war, so hatten beide Beleuchtungen den gleichen Beleuchtungswerth. Wurde nun die Lichtwirkung auf ein in der Ebene des Papiers angebrachtes Selen-Plättchen jedesmal bestimmt, so hatte man in dem Verhältnisse dieser Lichtwirkungen einen Factor, mit welchem die Angaben des Selen-Photometers für gleichen Beleuchtungswerth dieses farbigen Lichtes zu multipliciren waren. Es sollten in dieser Weise die Coëfficienten für alle Farben des Spectrums ermittelt und so eine Correctur-Tabelle für die Vergleichung verschiedenfarbigen Lichtes gebildet werden. Leider ergab sich aber, dass die Augen der Beobachter durch die Anstrengung des Erkennens der Druckschrift bei schwacher Beleuchtung und namentlich auch durch den schroffen Wechsel der Lichtfarbe in solchem Masse und bei verschiedenen Personen so ungleich angegriffen wurden, dass keine übereinstimmenden Resultate zu erreichen waren und die Versuche aufgegeben werden mussten. Es ist zu hoffen, dass es anderen Beobachtern mit besseren Hülfsmitteln gelingen wird, eine solche Correctur-Tabelle für gleichen Beleuchtungswerth farbigen Lichtes herzustellen. Die Lichtempfindlichkeit des Selens würde uns dann zu einem Photometer verholfen haben, welches nicht, wie alle bisherigen, nur farbloses oder gleichfarbiges, sondern Licht aller Farben vergleichen könnte und dabei frei vom persönlichen Fehler des Beobachters wäre.

Doch selbst ohne eine solche Corrections-Tabelle hat das Selen-Photometer den wesentlichen Vorzug vor anderen, dass es nicht, wie diese, bei geringen Differenzen der Lichtfarbe zu falschen Schätzungen verleitet, sondern bestimmte Angaben macht, über deren Bedeutung man sich verständigen kann.

Ueber die von Hrn. Fritts in New York entdeckte elektromotorische Wirkung des beleuchteten Selens.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 13. Mai 1875 u. 7. Juni 1877.)

Hr. Ch. Fritts in New York hat mir im Laufe des vorigen Sommers eine Beschreibung seiner, von der meinigen in wesentlichen Punkten abweichenden, Darstellungsmethode lichtempfindlicher Selenplatten geschickt und dieser Sendung einige von ihm hergestellte Platten beigefügt. Dieselben bestehen nicht wie die meinigen aus parallelen Platindrähten, die in einer dünnen Selenschicht eingebettet sind, sondern aus einer dünnen homogenen Selenschicht, welche auf ein Metallblech aufgetragen und nach erfolgter Erhitzung — zur Umwandlung des amorphen Selens in krystallinisches — mit einem feinen Goldblatt überzogen wird. Hr. Fritts hat gefunden, dass das durch das Goldblatt hindurchgehende grüne Licht beim weiteren Durchgange durch das Selen dessen elektrische Leitungsfähigkeit erhöht. In der That steigert sich die Leitungsfähigkeit der Selenplatte zwischen dem Goldblatt und der metallischen Grundplatte durch Beleuchtung des Goldblattes mit senkrecht auffallendem, directem Sonnenlichte bei einigen der übersandten Präparate auf das 20 bis 200 fache! Auch bei Beleuchtung durch diffuses Tageslicht ist die Lichtwirkung bei den Fritts'schen Präparaten grösser als bei den meinigen. Eine der mir übersandten Platten zeigte gar keine Lichtempfindlichkeit, hat aber dafür eine andere, höchst merkwürdige Eigenschaft, nämlich die, dass ein zwischen dem Goldblatte und der Grundplatte eingeschaltetes Galvanometer einen elektrischen Strom von der Richtung der Lichtbewegung durch das Selen anzeigt, so lange das Goldblatt beleuchtet wird. Ich vermuthete anfangs, dass dieser Strom kein dauernder wäre, sondern den Charakter eines Polarisationsstromes hätte, der nur so

lange anhielt, bis die moleculare Modification des Selens durch die Beleuchtung vollendet wäre, und ein erster Versuch schien für diese Annahme zu sprechen. Neuere eingehendere Versuche haben mich aber überzeugt, dass diese Vermuthung eine irrige war. Wir haben es hier in der That mit einer ganz neuen physikalischen Erscheinung zu thun, die von grösster wissenschaftlicher Tragweite ist! Meine Versuche haben ergeben, dass bei der Beleuchtung des Goldblattes zwischen ihm und der Bodenplatte eine Potentialdifferenz entsteht, welche allem Anschein nach proportional der Lichtstärke ist und die so lange unverändert fortbesteht, wie die Beleuchtung dauert. Dunkele Wärmestrahlen wirken nicht elektromotorisch, es ist daher die Annahme einer thermoelektrischen Wirkung zur Erklärung der Erscheinung ausgeschlossen. Hr. Fritts nimmt an, dass die in das Selen eindringenden Lichtwellen direct in elektrischen Strom umgewandelt werden und dafür spricht in der That die Proportionalität der Stromstärke mit der Lichtstärke. Diese ergab sich annähernd durch die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Versuche.

Lichtstärke in Normalkerzen	6,4	9,9	12,8	16,8
Stromstärke	18	30	40	48
Quotient	2,8	3	3,1	2,8

Die Lichtstärke wurde mit einem Bunsen'schen Photometer gemessen, die Stromstärke durch die Ablenkung eines empfindlichen Spiegelgalvanometers.

Als das Goldblatt der Beleuchtung durch die südöstliche Seite des wolkenlosen Himmelsgewölbes ausgesetzt wurde, während die Sonne selbst durch benachbarte hohe Gebäude verdeckt war, ergaben sich die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Messungen.

Beobachtungszeit	9^h37^m	10^h5^m	10^h30^m	11^h	11^h35^m	12^h	12^h30^m
Ablenkung des Galvanometers	190	196	209	223	250	250	244

Beobachtungszeit	1^h	1^h30^m	2^h	2^h30^m	3^h	3^h30^m	4^h
Ablenkung des Galvanometers	245	249	288	188	173	172	108

Es ergiebt sich aus denselben, dass die elektromotorische Kraft der Selenplatte von Morgens 9 Uhr 30^m bis Mittags 11 Uhr 35^m ziemlich gleichmässig zunahm, dann während zwei Stunden mit einigen Schwankungen constant blieb und darauf wieder ziemlich gleichmässig bis 3 Uhr abnahm.

Ueber den Grund, warum einige seiner Selenplatten durch Beleuchtung besser leitend werden, andere dagegen elektromotorisch wirken, weiss Hr. Fritts sich keine Rechenschaft zu geben. Er klagt über die Unsicherheit der Herstellung der Platten, deren Eigenschaften man gar nicht voraussehen könnte, und giebt verschiedene Manipulationen an, durch welche man oft unwirksame Platten brauchbar machen könne. Es wird also noch gründlicher Untersuchungen bedürfen, um festzustellen, worauf die elektromotorische Lichtwirkung mancher Selenplatten beruht. Trotzdem ist schon das Vorhandensein einer einzigen Selenplatte mit der beschriebenen Eigenschaft eine Thatsache von grösster wissenschaftlicher Bedeutung, da uns hier zum ersten Male die directe Umwandlnng der Energie des Lichtes in elektrische Energie entgegentritt.

Physikalisch-mechanische Betrachtungen, veranlasst durch eine Beobachtung der Thätigkeit des Vesuvs im Mai 1878.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 17. Oct.)

1878.

Der Vesuv trug während meiner Anwesenheit in Neapel im Mai d. J. eine Dampfkrone, welche sich hin und wieder bei windstillem Wetter etwa bis auf $^1/_3$ seiner Höhe über dem Meeresspiegel erhob. Während der Nacht erschien die Dampfkrone schwach leuchtend. Auffallend war mir hierbei, dass dieselbe, mit einem guten Fernrohre betrachtet, aus schnell auf einander folgenden Dampfringen zu bestehen schien. Der Lichtschein war nicht constant. Seine Helligkeit war sehr veränderlich, und hin und wieder schien er intermittirend zu sein.

Als ich am 14. Mai die recht beschwerliche Aufsteigung bis zum alten Kraterrande überwunden hatte, war ich im höchsten Masse überrascht durch den sich mir darbietenden Anblick. Auf der höchsten Spitze des Aschenkegels, welcher sich in der Mitte des grossen Kraters etwa bis zur halben Höhe seines Randes erhob, sah man eine hellglühende Oeffnung, aus welcher in ziemlich regelmässiger Folge alle 2 bis 3 Secunden heftige Explosionen hervorbrachen. Die Stärke dieser Explosionen liess sich ungefähr daraus ermessen, dass durch dieselben glühende Steine und Schlackenstücke in Menge bis bedeutend über meinen Standpunkt auf dem Rande des alten Kraters emporgeschleudert wurden und nach ihrem fast senkrecht erfolgenden Niederfalle auf der Oberfläche des inneren Achsenkegels niederrollten. Die hellglühende Oeffnung des thätigen Kraters bildete ein unregelmässiges Viereck, dessen mittlere Seitenlänge ich auf 5 bis 6 Meter schätzte. Jede Explosion riss die umgebende Luft mit sich fort und bildete dadurch über dem Berggipfel einen in sich von innen nach aussen rotirenden und sich beim Aufsteigen erweiternden Dampfring. Sie war

von einem dumpfen Knalle begleitet, welcher den ganzen Berggipfel merklich erschütterte. Eine eigentliche Flammenerscheinung war nicht zu beobachten. Da jedoch heller Sonnenschein herrschte, so hatte die ausgestossene Dampfmasse in der Nähe der Krateröffnung die gelbliche Färbung, welche schwach leuchtende Flammen im Sonnenschein anzunehmen pflegen.

Diese imposante Erscheinung wich wesentlich von der Vorstellung ab, die ich mir von der Vulcanthätigkeit nach den gelesenen Beschreibungen gebildet hatte. Diese kurzen, scharfen, explosionsartigen, sich in so kurzen Zeitintervallen folgenden Dampfausstossungen waren nicht durch die Annahme zu erklären, dass dem flüssigen Erdinnern entstammende, oder in der aufsteigenden Lava durch Verdampfung eingeschlossenen Wassers erzeugte Dampfmassen in Folge überwiegender Spannung die Lava im Kraterkanale durchbrochen kätten! Eine Gas- oder Dampfblase, die durch überlagernde Flüssigkeiten emporsteigt, kann entweder nur in ähnlicher Weise wie eine Luftblase im Wasser langsam emporsteigen, indem sie ihr Volumen, der Druckverminderung entsprechend, continuirlich vergrössert und dann ohne Ueberdruck die Flüssigkeit verlässt, oder sie muss, wenn die hohe Spannung plötzlich entsteht und den Druck der in einem engen Kanale eingeschlossenen Flüssigkeit bedeutend überwiegt, die letztere in zusammenhängender Masse hinausschleudern. Im ersteren Falle müsste das Empordringen einer jeden Dampfblase eine ruhige, durchaus nicht explosionsartige Dampfbildung verursachen, im letzteren dagegen müssten mit jeder Explosion grosse Lavamassen herausgeschleudert werden, und es müsste längere Zeit verstreichen, bis eine folgende Explosion nach Wiederanfüllung des Kraterkanals mit Lava eintreten könnte. Es ist aber auch gar kein Grund zu erkennen, wodurch eine solche plötzliche überwiegende Dampfspannung in der glühenden Tiefe entstehen sollte. Nehmen wir auch an, dass in der Lava oder dem Magma eingeschlossene Wassermassen mit demselben im Kraterkanale emporstiegen und nach entsprechender Druckverminderung in Dampfform übergingen, so kann dieser Uebergang niemals plötzlich sein, da der Druck sich nur langsam mit der abnehmenden Tiefe vermindert und da das Wasser, um in Dampfform überzugehen, latente Wärme aufnehmen muss, wodurch dasselbe sowie die umgebende Lava abgekühlt, also die Ursache der Dampfbildung so lange aufgehoben wird, bis die durch den entstandenen Dampf bewirkte Abkühlung durch Wärmezuleitung von den entfernteren Lavatheilen ersetzt ist.

Noch eine andere scheinbare Möglichkeit der plötzlichen Entwickelung einer überwiegenden Dampfspannung möge hier erörtert werden. Bei sehr hoher Temperatur werden die Bestandtheile des Wassers wie die anderer chemischer Verbindungen bekanntlich dissociirt. Man könnte nun annehmen, dass im Magma nicht Wasser, sondern

die dissociirten Bestandtheile desselben, also verdichtetes Knallgas enthalten wäre und dass dasselbe wieder zu Wasser verbrennt, wenn die Temperatur durch Verminderung der Drucksäule und damit der Compression des Magma, auf einen gewissen Grad herabgesunken wäre. Es ist aber einmal im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass auch unter dem gewaltigen Drucke, den die starre Erdkruste auf das Magma ausübt, eine Dissociation des Wassers eintreten kann, da der Druck die Verbindung der Gase zu dem dichteren Wasser begünstigt. Frühere Versuche haben mir gezeigt, dass bei einem sehr hohen Drucke kaltes Knallgas explodirt und in Wasserdampf verwandelt wird [1]). Wollte man aber auch annehmen, dass die dissociirende Kraft der Temperatur die associirende des Druckes überwindet, dass also das Wasser in Form verdichteten Knallgases im Magma enthalten sei, so wäre doch nicht anzunehmen, dass eine plötzliche, mit bedeutender fernerer Erwärmung verknüpfte Verbindung der Wasserbestandtheile zu Wasserdampf eintreten könnte, da die entstehende grössere Erhitzung ja sogleich wieder dissociirend wirken müsste, der Process also nur langsam verlaufen könnte.

Es bleibt hiernach nur übrig, anzunehmen, dass im Krater Wasserstoffgas oder brennbare Wasserstoffverbindungen emporstiegen, die auf irgend eine Weise mit Sauerstoff zu einer explosiven Gasmischung vermischt und nach erfolgter Mischung im oberen Theile des Kraterganges

[1]) Ich stellte den Versuch folgendermassen an: Etwa 50 cm lange Glasröhren von ca. 1½ mm innerem und 4 bis 5 mm äusserem Durchmesser wurden an einem Ende zugeschmolzen und zum grössten Theile mit angesäuertem Wasser gefüllt. In das offene Ende wurden dann 2 stark umsponnene Platindrähte von etwa 15 cm Länge gesteckt, das aufrecht stehende Rohr an diesem Ende mit einer Papierhülle umgeben, welche mit dem bekannten, aus Kolophonium und Wachs zusammengeschmolzenen Mechaniker-Kitt vollgegossen wurde, nachdem die Luft im offenen Ende des Rohres durch Erwärmung desselben etwas ausgedehnt war. Der Kitt zog sich dann beim Erkalten einige Centimeter in das Rohr hinein und bildete einen vollkommenen Verschluss desselben. Wurde nun das Rohr in etwas schiefer Lage, so dass die Flüssigkeit die Platinadrähte vollständig umgab, in einen Holzkasten gebracht, und dann eine galvanische Kette von 10 Daniell'schen Elementen zwischen die Enden der Platindrähte gestellt, so begann sogleich eine Wasserzersetzung. Wurden nur 3 bis 4 Daniells benutzt, so hörte die Wasserzersetzung nach kurzer Zeit auf und begann erst wieder, wenn die Zahl der Zellen vermehrt war. Wurden stärkere Batterien eingeschaltet, so erfolgte regelmässig nach Verlauf von 10 bis 30 Minuten eine Explosion mit Feuererscheinung, welche das Rohr zertrümmerte. Die Lichterscheinung wurde in einem Spiegel beobachtet, welcher vor einer Oeffnung im Kasten angebracht war. Die Erscheinung wiederholte sich unter gleichen Umständen mit vollständiger Regelmässigkeit; es konnte daher nur der Druck die Ursache der Entzündung des Knallgases sein. Die Grösse des zur Explosion bei bestimmter Temperatur erforderlichen Druckes habe ich nicht bestimmt. Nach der Rechnung konnte ein Glasrohr, wie die verwendeten, ca. 2000 Atm. Druck ertragen, ich glaube aber nicht, dass die Gasspannung vor der Explosion die Hälfte dieses Druckes erreicht hat.

entzündet wurden. Woher stammte aber das brennbare Gas, woher kam der Sauerstoff, und wie wurde in so kurzen Zeitabschnitten die nöthige vollständige Mischung bewirkt?

Erst nach längerer Betrachtung des interessanten Schauspiels machte ich eine Beobachtung, welche den letztgenannten Vorgang, die Mischung des aufsteigenden brennbaren Gases mit Sauerstoff, erklärte. Von der emporgeschleuderten Dampfwolke sonderten sich häufig kleine Wölkchen ab, die sich dann schnell seitwärts bewegten und mit grosser Geschwindigkeit in den Krater zurückkehrten. Bald darauf erfolgte dann die folgende Explosion. Der Anfangs so räthselhaft erscheinende, mechanische Vorgang wurde durch diese von meinen Begleitern bestätigte Beobachtung vollständig aufgeklärt. Nimmt man an, dass aus dem bis zu grösserer Tiefe leeren oder mit losem Gerölle angefüllten Kratergange ein continuirlicher Strom brennbaren Gases hervorbricht, so würde dieser, einmal entzündet, mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft als mächtige, wenn auch wenig leuchtende Flamme verbrennen. Beim Beginn der vulcanischen Thätigkeit wird aber der leere Krater mit atmosphärischer Luft gefüllt sein. Tritt nun ein abermaliges Aufsteigen von Lava und damit ein Emporströmen brennbaren Gases ein, so wird sich dieses leichtere und heisse Gas sehr schnell mit der darüber befindlichen, kalten und schweren atmosphärischen Luft mischen und mit derselben ein explosives Gemenge bilden, welches dann durch mitgerissene glühende Lavatheile entzündet wird. Die Folge kann eine mächtige Explosion sein, wie sie ja oft beim Beginn einer Ausbruchsperiode beobachtet ist. Ist die Krateröffnung weit und offen, so dass die atmosphärische Luft leichten Zugang zu dessen Innerem hat, so wird häufig diese erste Explosion keine weiteren im Gefolge haben, sondern es wird das nachströmende brennbare Gas mit der continuirlich einfliessenden, schweren atmospärischen Luft ruhig in der Tiefe des Kraters verbrennen. Ist dagegen, wie beim Vesuv der Fall war, die Krateröffnung eng, so dass kein gleichzeitiges Aus- und Einströmen von Gasen und Luft durch dieselbe stattfinden kann, so sind alle Bedingungen für eine Reihe von Explosionen gegeben. Der durch die erste Explosion gebildete, stark erhitzte Wasserdampf wird zum grössten Theile in grosser Geschwindigkeit aus der Oeffnung geworfen. Im nächsten Momente wirken zwei Kräfte zusammen, um eine relative Leere im Krater zu erzeugen. Einmal wird der noch im oberen Theile desselben befindliche Dampf seinen Weg in Folge der Trägheit seiner Masse nach fortsetzen, wenn schon atmosphärisches Gleichgewicht eingetreten ist, und dadurch im Krater eine relative Leere erzeugen, und zweitens wird die in Folge dessen nach der Explosion eintretende kalte Luft den noch zurückgebliebenen Wasserdampf zum Theil condensiren und dadurch ein weiteres Nachströmen von atmosphärischer Luft verursachen. Diese einströmende Luft muss sich nun mit dem aus der

Tiefe regelmässig zuströmenden, brennbaren Gase um so schneller mischen, als die schwerere Luft sich über der leichten befindet, und beide lebhaft bewegt sind. Sobald die Mischung explosiv geworden ist, wird die zweite Explosion erfolgen, und so fort. Eine grössere Zahl solcher Explosionen wird die dadurch erzeugte hohe Temperatur den Wänden der Kratermündung mittheilen und dieselben zum Glühen bringen. Wahrscheinlich rührte die beobachtete helle Gluth der Krateröffnung nur von diesen andauernden Explosionen her, und es ist sogar nicht unwahrscheinlich, dass der Kratergang erst in bedeutenden Tiefen dem Erdinnern entstammende Glühhitze hatte, während die mittleren Tiefen dunkel waren. Das Zeitintervall zwischen den Explosionen muss hauptsächlich von der Grösse des lufterfüllten Raumes im Krater abhängen. Es ist daher zu vermuthen, dass eine Beschleunigung der Folge der Explosionen auf ein Ansteigen der Lava im Krater, mithin auf einen nahenden Lava-Ausbruch hindeutet [1]).

Schwieriger als die Frage der Mischung des brennbaren Gases mit atmosphärischer Luft sind die Fragen zu beantworten, welches die Art und der Ursprung des brennbaren Gases ist, das dem Erdinnern durch den Krater entsteigt, und welche Kräfte die geschmolzenen Massen bei Ausbrüchen bis zum Gipfel der Vulcane emporheben.

Die starke Dampfbildung macht es sehr wahrscheinlich, dass hauptsächlich Wasserstoff zur Verbrennung gekommen ist, sie lässt aber unentschieden, ob der Wasserstoff frei oder an andere brennbare Stoffe, wie Schwefel, Kohle etc., gebunden war. Vielleicht war das brennbare Gas auch stark mit Wasserdampf gemischt, welcher dann die Dampfwolken zum Theil bilden konnte. Unzweifelhaft enthielten diese beträchtliche Quantitäten schwefliger Säure. Wenn der Wind meinem Standpunkte etwas von dem schon in hohem Masse mit atmosphärischer Luft gemischten Dampfe zuführte, so musste ich denselben schleunigst verändern, da das Einathmen der schwefligen Säure mir unerträglich war. Schwefelwasserstoff, welcher mit Sauerstoff zu schwefliger Säure verbrennt, könnte sich durch Wasserzersetzung erst in den tieferen Schichten der festen Erdrinde gebildet haben. Wenn der Kratergang durch mächtige, vielleicht vielfach zerklüftete Lager von Schwefeleisen hindurchführt, so müssen glühende, aus dem flüssigen Erdinnern, dem Magma, entbundene und durch den Kratergang dringende Wasserdämpfe das Schwefeleisen zersetzen und Schwefelwasserstoff bilden, welcher dann, mit unzersetztem Wasserdampfe gemischt, emporsteigt. Dasselbe würde geschehen, wenn in die mit Tages- oder Meerwasser gefüllten Spalten aufsteigendes glühendes Magma eintritt. Wenn sich aber auch die Vesuv-Thätigkeit vielleicht so erklären lässt, so kann

[1]) Derselbe fand bald darauf statt.

man doch nicht annehmen, dass dies für alle Vulcane gilt, da die Verbrennungs-Producte vieler derselben gar keine oder doch nur sehr wenig schweflige Säure enthalten, und da auch wohl kaum anzunehmen ist, dass sich unter allen Vulcanen Lager von Schwefelkies oder Schwefeleisen befinden. Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoff zersetzen sich bei hoher Temperatur unter geringem Drucke. Damit ist allerdings nicht erwiesen, dass sie bei dem hohen Drucke, unter welchem das Magma steht, nicht trotz der hohen Temperatur desselben in ihm bestehen könnten; es muss aber jedenfalls Zersetzung eintreten, wenn beim Aufsteigen mit dem Magma oder durch dasselbe hindurch der Druck sich vermindert. Dass das Magma Wasser und Wasserstoff enthält, ist für Ersteres erwiesen und auch nicht überraschend, wenn man von der Kant-Laplace'schen Weltbildungstheorie ausgeht. Nach dieser muss man annehmen, dass die Körperatome im Anfang einzeln im Raume des Weltalls zerstreut waren. Hatten sich — vielleicht durch ungleiche Vertheilung — Anziehungscentren gebildet, so mussten sie sich zu diesen hin bewegen. Nach der mechanischen Wärmetheorie musste, wie Helmholtz nachwies, die in den beschleunigt bewegten Atomen angesammelte lebendige Kraft beim Aufeinandertreffen sich in Wärme umsetzen, und die Temperatur musste sich bei fortschreitender Verdichtung in schneller Progression erhöhen. Mit der steigenden Temperatur musste das Spiel der chemischen Verbindungskräfte beginnen. Verwandte, in Berührung kommende Atome mussten sich zu Körpermolecülen verbinden, die vielleicht bei anderweitigen Berührungen und bei durch grössere Verdichtung gestiegener Temperatur wieder zu anderen Verbindungen auseinander- und zusammengingen. Alle bei den herrschenden Temperatur- und Druckverhältnissen möglichen chemischen Verbindungen mussten entstehen und in der durch Wärmeverlust und Massendruck flüssig gewordenen Erdmasse, dem Magma, in inniger Mischung vorhanden sein.

Der gewöhnliche Ausgangspunkt geologischer Betrachtungen, dass die Erde eine feuerflüssige, wesentlich aus Silicaten bestehende Kugel gewesen, und das Wasser mit den Gasen dieselbe als glühende Atmosphäre umgeben hätte, entspricht der obigen Anschauung nicht. Nur aus den äusseren, unter geringem Drucke stehenden Schichten der flüssig werdenden Erdmasse konnten Wasser und Gase sofort in Gasform entweichen, während sie in grösseren Tiefen in dem Magma theils gelöst, theils in inniger Mischung von demselben zurückgehalten bleiben mussten. — Gegen die Annahme, dass auch Wasserstoff und andere brennbare Stoffe im Magma zurückblieben, könnte die Thatsache sprechen, dass Sauerstoff jetzt einen grossen Theil unserer Atmosphäre bildet, also im Ueberschuss vorhanden gewesen sein müsste. Wir kennen aber den Einfluss des gewaltigen Druckes und der ihm entsprechenden hohen Temperatur, die im Erdinnern bei ihrer Bildung

herrschten und der durch spätere Abkühlung bewirkten Aenderung der Verwandtschaftskräfte noch viel zu wenig, um entscheiden zu können, ob nicht der Sauerstoff bei der Erdbildung gänzlich verbunden war und erst in späteren Perioden mit dem grössten Theile des jetzt auf der Erdoberfläche befindlichen Wassers aus dem bereits flüssigen Magma entbunden wurde. Dass die Sonnenatmosphäre nach den Ergebnissen der Spectralanalyse zum grossen Theil aus freiem Wasserstoff besteht und noch jetzt mächtige Wasserstoffmassen aus dem Sonnenkerne hervorbrechen, spricht für den Ueberschuss des Wasserstoffs im Sonnensysteme, also für die leztere Ansicht. Dass wir in unserer Atmosphäre keinen freien Wasserstoff mehr vorfinden, könnte vielleicht dadurch erklärt werden, dass der specifisch leichtere und in viel weiteren Grenzen compressible Wasserstoff eine weit höhere Atmosphäre als die schweren Gase bilden muss und der Erde dadurch fast ganz entzogen wurde, dass die Grenze derselben die Gleichgewichtsgrenze zwischen Anziehung und Centrifugalkraft überschreitet. Wir wissen, dass unter Druck hoch erhitztes Wasser Quarz und Silicate in beträchtlicher Menge löst, sowie andererseits, dass geschmolzene Silicate sowohl Wasser, als sogenannte permanente Gase absorbiren. Wie weit diese Eigenschaften durch den gewaltigen Druck und die hohen Temperaturen im Innern der Erde verstärkt werden, wissen wir nicht. Wahrscheinlich ist, dass mit Silicaten gesättigtes, glühendes Wasser und mit Wasser gesättigte Silicate unverbunden, aber in inniger Mischung neben einander bestanden und z. Th. noch bestehen. Dasselbe wird von der Kohlensäure gelten, deren wässerige Lösung unter hohem Druck Kalk, Magnesia etc. in beträchtlichen Quantitäten aufnimmt. Es treten nun in dieser nicht homogenen Masse Kräfte auf, welche im Lauf der Zeit eine Sonderung der unverbunden neben einander lagernden flüssigen Massen bewirken mussten. Die Schwerkraft musste die specifisch schwereren allmählich dem tieferen Erdinnern zuführen, die leichteren also zur Peripherie bewegen, während die gegenseitige stärkere Anziehung der schweren Massen die leichteren in ähnlicher Weise abstossen musste, wie Luftblasen in Flüssigkeiten sich abstossen.

Das Resultat dieser, namentlich in zähen Flüssigkeiten sehr langsam wirkenden Kräfte, von denen die erste, wirksamste bei zunehmender Tiefe noch mit der Intensität der Schwere abnimmt, musste eine ganz allmähliche Scheidung der schweren Flüssigkeiten von den leichten und eine Zusammenballung und Bewegung der letzteren zur Peripherie sein. Es können aber auch von vorn herein schon bei der Bildung der Erdkugel schwere und leichtere, mehr Alkalien, Kohlensäure und Wasser haltende Massen-Regionen gebildet sein, weil die Stoffe ursprünglich nicht gleichmässig, sondern gruppenweise im Weltall verbreitet waren.

Dieser Gruppirung schwerer und leichter Massen im Erdinnern,

oder dieser „Schlierenbildung“, wie Reyer es ausdrückt, muss ein bedeutender Antheil an der Formation der Erdkruste, sowie an den noch jetzt zu Tage tretenden vulcanischen Erscheinungen zugeschrieben werden. Bevor ich hierauf näher eingehe, muss ich jedoch erst die gewichtigen Gründe in Betracht ziehen, welche Sir William Thomson der Annahme, dass die Erde im Innern noch flüssig sei oder auch nur bei Bildung der ersten festen Kruste noch flüssig gewesen sei, entgegenstellt.

Thomson behauptet, dass die Erde eine weit grössere Starrheit als eine massive Glas- oder selbst Stahlkugel haben müsse, weil andernfalls die Meeresfluth in der beobachteten Grösse nicht eintreten könnte. Wäre die Erde im Innern noch flüssig, so müssten Land und Wasser gemeinsam die Fluthbewegungen ausführen, es könnte mithin keine relative Hebung des Wassers eintreten. Der geringe Widerstand einer mässig dicken, festen Kruste könne hierin nichts ändern. Wäre die Erde eine massive Glaskugel, so würde die Elasticität derselben ihr noch eine Fluthbewegung gestatten, welche die für eine vollkommen starre Erde berechnete und mit der Erfahrung so ziemlich übereinstimmende Meeresfluth auf $^2/_5$ und, wenn sie von Stahl wäre, auf $^2/_3$ ihrer Grösse reduciren würde. Er erklärt es auch für unmöglich, dass sich eine feste Kruste bilden konnte, bevor die ganze Erde starr war, weil die festen Gesteine derselben nach Bischof's Versuchen ca. 20 pCt. specifisch schwerer seien als die geschmolzene Masse, aus der sie erstarrt seien. Thomson nimmt daher an, die Erde sei ein fester Kern mit einem tiefen Meere geschmolzener Silicate, welches denselben bedeckt hätte, gewesen. Als sich bei weiterer Abkühlung erstarrte Felsmassen auf der Oberfläche bildeten, seien dieselben bis auf den festen Kern hinabgesunken. Erst nachdem das ganze feuerflüssige Meer auf diese Weise mit Felsschollen ausgefüllt war, konnte sich eine dauernde feste Kruste bilden. Die Zwischenräume zwischen den versunkenen Schollen blieben mit geschmolzenen Massen angefüllt und sind es zum Theil noch jetzt. Diesen im starren Erdkörper eingeschlossenen flüssigen Lava-Massen entspringt nach Thomson's Ansicht die Lava der Vulcane, und die von der Decke solcher Hohlräume auf den Boden derselben niederfallenden Felsmassen sind der Grund der Erdbeben. W. Thomson begründet diese Anschauung auf eine Rechnung seines Bruders James Thomson, nach welcher der Erstarrungspunkt flüssiger Massen durch den Druck in verschiedenem Sinne verschoben wird, je nachdem der Körper sich beim Erstarren ausdehnt oder zusammenzieht. Beim Eise hat sich diese Rechnung vollständig bestätigt. Unter Zugrundelegung der Bischof'schen Versuche und der Hypothese von Laplace, nach welcher die Zunahme des Quadrates der Dichtigkeit der Zunahme des Druckes proportional ist, berechnet nun Thomson, dass für das Erdinnere die Schmelztemperatur der Silicate stets höher gewesen sei als die durch die Compression entstandene

Temperatur. Da die hiernach berechnete Massenvertheilung im Erdkörper der zur Hervorbringung der beobachteten Präcession und Nutation erforderlichen entspricht, so hält W. Thomson die Richtigkeit der Laplace'schen Hypothese und damit auch seine Anschauung von der Beschaffenheit und Bildung des Erdkörpers für erwiesen. Mallet, Roth und andere Geologen haben dieselbe mit geologischen Gründen bekämpft. Mallet greift auch die Richtigkeit der Bischof'schen Versuche an und hat durch eigene Versuche gefunden, dass Hochofenschlacken sich beim Erstarren von der Schmelztemperatur bis zur Erstarrung nur um 6 pCt. zusammenziehen. Versuche, die mein Bruder Friedrich Siemens in seiner Flaschen-Glashütte in Dresden auf meine Veranlassung angestellt hat, erklären diese grossen Verschiedenheiten der Versuchs-Resultate. Es hat sich ergeben, dass das dünnflüssig geschmolzene, sehr quarzreiche Flaschenglas sich von einem bestimmten Temperaturgrade an sehr schnell zusammenzieht und dabei zähflüssig wird. Je weiter die Abkühlung vorschreitet, desto geringer wird die Zusammenziehung, und bei der Erstarrung selbst aus der noch plastischen Glasmasse findet sogar eine geringere Zusammenziehung statt, als bei festem Glase bei gleicher Temperaturdifferenz, was einer geringen Ausdehnung beim Uebergang in den festen Zustand gleichbedeutend ist. Von der bedeutenden Zusammenziehung des dünnflüssigen Glases bei eintretender Abkühlung konnte man sich schon durch den Augenschein überzeugen, wenn man einen Tiegel im Ofenraum mit geläuterter, d. i. blasenfreier Glasmasse bis zum Rande füllte und denselben dann aus dem Ofen nahm. Das Niveau der Glasmasse sank dann ersichtlich, anfangs schneller, dann langsamer, obschon die Zusammenziehung der zuerst erkaltenden Tiegelwand eine entgegengesetzte Wirkung ausüben musste. Die Grösse dieser Zusammenziehung von der Temperatur des geschmolzenen Glases bis zur Lufttemperatur konnte für zwei Temperaturen mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden. In den grossen, continuirlich functionirenden Wannenöfen meines Bruders sind Schmelz- und Arbeitsraum räumlich geschieden und haben verschiedene, aber stets ziemlich gleichbleibende Temperaturen. Diese Temperaturen sind nach mehrfachen Bestimmungen meines Bruders im Schmelzraume 1600° bis 1700°, im Arbeitsraume 1200° bis 1300° C. Es wurden nun zwei möglichst gleiche, oben etwas verengte Tiegel aus Glashafenmasse angefertigt und in jeder Ofenabtheilung einer derselben mit blasenfreiem Glase bis zum möglichst ebenen und horizontalen Tiegelrande gefüllt. Beide wurden dann mit grosser Vorsicht aus dem Ofen genommen und in den Kühlofen gestellt. Um zu verhindern, dass die Oberfläche des Glases zuerst erstarrte, wurde eine besonders hierfür angefertigte, sehr dicke, hoch erhitzte Haube auf jeden Tiegel gesetzt. Es fand sich nach der Abkühlung, dass die Oberfläche des Glases in beiden Tiegeln ganz gleich-

förmig eingesunken war. Das Volumen dieser Einsenkung wurde darauf in meinem Laboratorium durch Ausfüllung des Raumes mit Quecksilber genau ermittelt, darauf die Tiegel vorsichtig zerschlagen und das Volumen der festen Glaskörper durch Wägung im Wasser ermittelt. Eine Luftblase, die sich in der Glasmasse befand, wurde nach Zertrümmerung des Glaskörpers bestimmt und in Rechnung gebracht. Das Ergebniss war:

	Volum des festen Glases cc	Volum der Höhlung cc	Verhältniss der Volum. in pCt. des fest. Glases	Temperatur
I	1050	84,7	8,07	1650° C.
II	1080	36,4	3,37	1250° C.

Die Volum-Ausdehnung des flüssigen Glases zwischen den obigen Temperaturen betrug mithin pro 100° C. 1,18 pCt., während festes Glas sich um 0,24, also um etwa $^1/_5$ dieses Betrages ausdehnt. Diese bedeutende Volumverminderung der geschmolzenen Glasmasse bei ihrer Abkühlung kann nicht der gewöhnlichen Ausdehnung der Körper durch Erwärmung zugeschrieben werden. Wenn man auch annimmt, dass die Volum-Ausdehnung des flüssigen Glases durch Temperaturerhöhung beträchtlich grösser ist, als die des festen, so würde doch eine so grosse Steigerung des Ausdehnungscoëfficienten mit der Temperatur ohne alle Analogie sein. Dass die Glasmasse sich bei der schliesslichen Erstarrung aus dem noch plastischen Zustande nicht weiter zusammenzieht, wurde durch Einblasen einer weiten Glasflasche in eine kalte eiserne Form festgestellt. Eine beim Herausnehmen aus der Form noch dunkelrothe Flasche hatte nach der Abkühlung im Kühlofen einen Umfang von 293,3 cm. Ein Gypsklumpen, der in derselben Form erstarrt war, was bekanntlich ohne Schwinden geschieht, hatte an derselben Stelle einen Umfang von 290,2 cm. Nimmt man an, dass der Temperaturunterschied zwischen rothglühendem, noch plastischem Glase und der Lufttemperatur 800° C. betrug und dass die lineare Ausdehnung des schwer schmelzbaren Flaschenglases 0,0008 bei Erwärmung um 100° C. beträgt, so würde die Contraction des festen Glases etwa doppelt so gross gewesen sein, als die hier gefundene, was auf eine Ausdehnung beim wirklichen Erstarren schliessen liess.

Entscheidender für die Frage, ob mit der Festwerdung aus dem noch plastischen Zustande der Silicate eine Contraction oder Ausdehnung verknüpft ist, ist die von Mallet ausgeführte Zusammenstellung jahrelang durchgeführter Messungen der Grösse der in der Plate Glass Co. zu Blackwall gefertigten Spiegelplatten im rothglühenden, noch zähen und im abgekühlten Zustande. Dieselben ergaben eine Contraction

von 0,53 pCt. Nimmt man auch hier einen Temperaturunterschied von 800° C. und den Ausdehnungscoëfficienten für lineare Ausdehnung des festen Spiegelglases zu $^1/_{1100}$ oder 0,0009 pro 100° C. an, so würde die lineare Contraction fester Glasmassen durch die Abkühlung 0,72 pCt. betragen, also eine geringe Ausdehnung beim eigentlichen Erstarren eingetreten sein. Die Frage, ob beim Uebergang in den krystallinischen Zustand bei den Silicaten eine Ausdehnung oder Zusammenziehung stattfindet, ist bisher durch Versuche nicht entschieden. Durch Schmelzung von krystallinischen Massen lässt sie sich auch kaum entscheiden, da erfahrungsmässig bei solchen Schmelzungen ein grosser Gewichtsverlust durch Verflüchtigung etc. eintritt. Wahrscheinlich ist, dass die Aenderung des specifischen Gewichtes durch die Krystallisation bei den verschiedenen Silicaten eben so verschieden ist als bei den übrigen Krystallen, bei denen nach noch unbekannten Gesetzen bisweilen Ausdehnung, bisweilen Zusammenziehung eintritt.

Es ergiebt sich aus dem Vorherigen, dass die Annahme, welche Thomson seinen Rechnungen zu Grunde gelegt hat, dass beim Uebergange der Silicate aus dem flüssigen in den festen Zustand eine Volumverminderung von ca. 20 pCt. einträte, nicht zulässig ist. Die Contraction findet beim Uebergange in den amorphen Zustand gänzlich, beim Uebergange in den krystallinischen wenigstens sicher zum bei Weitem grössten Theile während des Ueberganges aus dem dünnflüssigen in den zähflüssigen Zustand statt. Die Thomson'sche Rechnung ergiebt daher nicht, wie er annimmt, dass die Erde durch den Druck im Innern starr, sondern dass sie durch denselben zähflüssig oder plastisch werden musste.

Dieser zähflüssige Zustand, welchen der Quarz und die quarzreichen Silicate bei der Abkühlung und nach Thomson's Rechnung auch durch den Druck annehmen, macht es auch erklärlich, dass sich eine feste Kruste aus schwererem Material auf der noch flüssigen Erde bilden konnte. Als die Abkühlung so weit vorgeschritten war, dass eine Erstarrung der äussersten Schichten des Erd-Ellipsoids möglich wurde, gingen dieselben zunächst in einen zähflüssigen Zustand über, der noch dadurch begünstigt wurde, dass Wasser, Kohlensäure und andere flüchtige Körper in Gasform aus demselben entwichen waren. Diese schwereren Schichten mussten in dem dünnflüssigen Magma versinken und wurden nach der Thomson'schen Theorie hierdurch noch zäher. Es musste sich also bis auf unbekannte Tiefen hin eine zusammenhängende, zähe Stütz- und Schutzschicht für die demnächst sich bildende feste Kruste bilden. Diese zähe, plastische Masse musste in Folge ihrer Bildungsweise vielfach von Schichten und Kanälen leichtflüssigeren Magmas durchsetzt sein und so dem letzteren vielfach den Zugang zur erstarrten Rinde und der Erdoberfläche gestatten.

Der Annahme, dass ein solcher Zustand auch jetzt noch bestehe, steht jedoch das Resultat Thomson's gegenüber, dass die vorhandene Meeresfluth unbedingt eine starre Beschaffenheit der Erde erheische. Dem gegenüber muss ich aber auf einen, wie mir scheint, von Thomson ausser Betracht gelassenen Factor hinweisen. Es ist dies die Zeit, welche verfliessen muss, bis das Maximum der durch die Anziehung des Mondes und der Sonne bedingten Deformation des Erdellipsoids eingetreten ist. Bei den gewaltigen Dimensionen, welche der Erdkörper hat, muss diese Zeit eine beträchtliche sein, namentlich wenn man das Erdinnere als zähflüssig annimmt, wie es ja auch nach Thomson's Rechnungen wahrscheinlich ist. Wie langsam zähe Massen einem auf sie ausgeübten Drucke nachgeben, zeigt schon eine Kugel aus Pech oder einer ähnlichen zähen Substanz, die erst nach Monaten dem durch die Anziehung der Erde auf dieselbe ausgeübten Drucke vollständig nachgiebt und zu einem Kuchen zerfliesst! Selbst wenn die Erde aus vollständig elastischem Material bestände, könnte das Fluth-Ellipsoid erst nach Verlauf einer bestimmten Zeit vollständig zu Stande kommen — wie sich schon aus der Betrachtung ergiebt, dass der Schall im Wasser ca. 2 Stunden gebrauchen würde, um vom Centrum der Erde bis zu ihrer Peripherie zu gelangen. Zähflüssige Massen pflanzen den Schall nur in sehr geringem Grade fort. Es erscheint daher wahrscheinlich, dass die Erdfluth — auch wenn man annimmt, dass der Kruste keine in Betracht kommende Starrheit oder Elasticität zuzuschreiben ist — bei der Rotation der Erde so weit hinter der Meeresfluth zurückbleibt, dass sie nur einen geringen vermindernden Einfluss auf dieselbe ausüben kann.

Bei der von Thomson adoptirten Ansicht, dass die Erde schon bei der ersten Bildung ihrer Oberfläche starr gewesen sei, und dass die vulcanischen Lavaergüsse Höhlungen im festen Erdinnern entstammten, in welchen nicht erstarrte Massen zurückgeblieben wären, ist nicht verständlich, durch welche Kräfte die Laven dann bis zur Erhöhung der Kratermündungen gehoben werden. Wenn auch angenommen wird, dass die eingeschlossene Lava bei der fortschreitenden Abkühlung der Erde noch nicht erstarrte, weil sie aus leichtflüssigeren Silicaten bestand als die umgebenden festen Massen, so musste sie doch immer kälter werden, und dabei musste ihr Volumen in höherem Masse abnehmen als das der Höhlungen, in denen sie sich befand. Standen diese durch Kraterkanäle in Verbindung mit der Atmosphäre, so konnte durch fortschreitende Abkühlung keine Lava ausgetrieben, sondern es musste im Gegentheil Luft eingesogen werden. Auch eindringendes Tageswasser konnte keine Hebung der Lava verursachen, da es entweder durch den Kratergang dampfförmig entweichen konnte, oder der weitere Wasserzutritt durch die eintretende Dampfspannung inhibirt werden musste. Noch schwerer wäre bei der Thomson'schen Annahme die

Bildung der viele Tausend Fuss starken Sedimentschichten zu erklären, welche fast ohne Ausnahme die ganze Erdoberfläche bedecken. Wenn das Meer anfangs auch die ganze Erde bedeckte und vermöge seiner hohen Temperatur einen weit grösseren auflösenden und zerstörenden Einfluss auf seine felsige Unterlage ausüben musste, so konnte diese Wirkung sich doch nur auf geringe Tiefen erstrecken, da die aus dem Meere abgelagerten Sedimente das Urgestein bald vor weiterer Zerstörung schützen mussten. Ganz undenkbar ist es aber, in welcher Weise die oft zu vielen Tausenden vorhandenen und weite Länderstrecken gleichmässig bedeckenden, geschichteten Sedimente von wechselnder Zusammensetzung entstanden sein sollten. Die Geologen erklären diese Schichtungen bisher, ebenfalls ungenügend, dadurch, dass häufig wiederholte Hebungen und Senkungen eingetreten seien, durch welche ein andauernder Wechsel zwischen Festland und Meeresboden stattgefunden hätte. Ganz abgesehen von der Frage, durch welche Kräfte diese so häufig wiederholten Hebungen und Senkungen hervorgebracht werden konnten, und warum kein Theil der Erdoberfläche bei diesem Schaukelspiel vergessen wurde, erklärt sich durch diese Hypothese nicht die Mächtigkeit der Sedimentschichten. Denn wenn einmal eine Sedimentschicht von hinlänglicher Stärke, um die darunter lagernden Urgesteine vor weiterer Verwitterung zu schützen, gebildet war, so mussten bei nachfolgenden Hebungen zunächst diese Sedimente durch die Tageswasser wieder zerstört und dem Meere zugeführt werden. Eine weitere wesentliche Vermehrung der Sedimentmassen konnte also dann gar nicht mehr eintreten. Um die Bildung dieser und namentlich ihrer Schichtung zu erklären, muss man nothwendig ihren Ursprung im Innern der Erde suchen. War das Meer nach Bildung und hinlänglicher Abkühlung der Kruste zum grössten Theil noch mit dem Magma verbunden, wie früher als wahrscheinlich angenommen wurde, so musste dem noch die ganze Erde bedeckenden Meere von geringer Tiefe durch unzählige Krater wässeriges Magma zugeführt werden, dessen gelöste oder lösliche Substanz das Meerwasser aufnahm, um sie durch seine Strömungen zu verbreiten und demnächst zur Bildung der Sedimentschichten zu verwenden. Erst als die Sedimente sich zum grössten Theile abgelagert hatten, begannen die Continente sich zu heben, und es konnten nun weitere Umbildungen der trocken gewordenen Theile der Oberfläche durch die Einwirkung der Tageswasser und weitere, durch organisches Leben unterstützte Ablagerungen auf dem Meeresboden eintreten. Da aus dem sich allmählich abkühlenden Magma auch an der inneren Fläche der Erdkruste krystallinische Ablagerungen ausgeschieden werden mussten, so wurde das in demselben enthaltene Wasser um so ärmer an festen und gelösten Stoffen, je dicker die Erdkruste geworden war, und je langsamer daher die Abkühlung vorschritt. Es ist aus diesem Grunde wahrscheinlich, dass der

Periode der feuerflüssigen Schlammvulcane eine andere Periode heisser Quellen folgte, welche das Meer fortdauernd erwärmten und dadurch organisches Leben auch in den höchsten Breiten ermöglichten. Als endlich auch diese Quellen bis auf einige schwache Reste versiegten und Meer und Atmosphäre in den höheren Breiten sich hinlänglich abgekühlt hatten, musste das in den niederen Breiten noch wärmere Meer durch seine grössere Verdunstung in jenen gewaltige Niederschläge erzeugen, welche ihre Temperatur hinabdrückten und die Gletscherzeit hervorriefen[1]). Erst als der erwärmende Einfluss des Erdinneren fast ganz geschwunden war, konnten die heutigen klimatischen Zustände entstehen.

Die Zeit der Ausscheidung der Sedimentmassen durch Ausbruch von Wasser- und Kohlensäure-haltigem Magma musste von einer vermehrten Verkleinerung des Volumens des flüssigen oder plastischen Erdinnern begleitet sein. Mallet hatte bereits nachgewiesen, dass diese Volum-Verkleinerung, die er nur der Abkühlung durch Wärmeleitung der noch dünnen Erdkruste und nicht gleichzeitig dem Substanzverlust des Erdinnern durch Ausscheidung des grössten Theils des Meeres und der Sedimentmassen zuschreibt, die Erdkruste zwingen musste, sich durch Runzeln, Erhebung von Gebirgen und Zerdrücken der Gesteine an ihren schwächsten Stellen dem Volumen des plastischen Kernes wieder anzuschliessen. In der That kann man sich diese geologischen Erscheinungen mit Dana und Mallet nur durch das Auftreten tangential in der Erdrinde wirkender Kräfte erklären. Die Festigkeit der Erdkruste und deren Reaction gegen das flüssige oder doch plastische Erdinnere ist bei dem grossen Durchmesser der Erde auch bei den günstigsten Annahmen eine sehr geringe. Nimmt man an, dass dieselbe aus einer homogenen Basaltmasse ohne Sprünge oder geschwächte Stellen von 100 Kilometer Dicke bestehe, und dass die absolute sowie die rückwirkende Festigkeit des Basalts 2000 Kilogramm pro □cm betrage, so muss der Druck, den diese Hülle auf den Kern ausübt, etwa 30 000 Atmosphären betragen. Nimmt man ferner der Einfachheit wegen die Erde als Kugel vom Umfange von 40 Millionen Meter an, so würde ein grösster Schnitt durch die feste Hohlkugel einen Querschnitt der Wandstärke derselben von $4 \cdot 10^7 \cdot 10^5 \cdot 10^4$ oder von $4 \cdot 10^{16}$ □cm ergeben. Die absolute Festigkeit des Querschnitts würde mithin $8 \cdot 10^{19}$ kg betragen. Um die Kugel zu sprengen, müsste im

[1]) Dass grössere Niederschläge die Temperatur der den Polarregionen benachbarten Breiten herabdrücken, hat Dove bereits als Grund der grösseren Ausdehnung der Eisregion der südlichen Hemisphäre hervorgehoben. Da durch die vermehrten Niederschläge in der Atmosphäre auch mehr latente Wärme frei wird, so werden sie eine Ausbreitung der kalten Zone auf Kosten der Kälte der höheren Breiten hervorrufen. Es wird mithin die Polartemperatur in der Eiszeit höher gewesen sein als jetzt.

Innern ein Ueberdruck herrschen, welcher auf dem Querschnitt der ganzen Kugel einen grösseren Druck ausübte. Da eine Atmosphäre auf einen □ cm mit ca. 1 kg drückt und der Querschnitt der ganzen Erde $\frac{(4 \cdot 10^7)^2 \cdot 10^4}{4\pi} = \frac{4 \cdot 10^{18}}{\pi}$ □ cm ist, so ist die Zahl der Atmosphären für das Gleichgewicht $= \frac{8 \cdot 10^{19}}{4 \cdot 10^{18}} \pi = 20\pi$ oder $= 62{,}8$. Es würde also eine Druckvermehrung von 63 Atmosphären oder der Druck einer Säule geschmolzenen Gesteins von ca. 250 Meter genügen, um die feste Hülle der Erde unter den gemachten Voraussetzungen zu zersprengen, und eine gleiche Verminderung des Gegendrucks der flüssigen Masse müsste ausreichen, um sie zusammenzustauchen oder in ihren schwächsten Stellen zu zerdrücken oder endlich in Linien geringsten Widerstandes in Form mächtiger Schollen als fortlaufende Gebirgsketten in die Höhe zu treiben[1]). Mallet nimmt nun an, dass diese Zer-

[1]) Die obige Annahme, dass die Druckfestigkeit gleich der absoluten sei, ist offenbar nicht genau richtig. Die erstere ist wahrscheinlich beträchtlich grösser anzunehmen, was aber bei den ungeheuren Tangentialkräften, die durch theilweise Aufhebung des Gegendruckes des flüssigen Erdinnern in der Erdrinde auftreten, ganz unerheblich ist.

Die Druckfestigkeit, oder der Widerstand, den die Körper dem Zerdrücktwerden entgegensetzen, bildet noch einen ziemlich dunklen Abschnitt der Mechanik. Es ist weder das Wesen der thätigen widerstehenden Kräfte bestimmt definirt, noch liegen zuverlässige, nach derselben Methode an demselben Material angestellte Versuche vor, aus denen sich ein Verhältniss oder Zusammenhang zwischen der absoluten und rückwirkenden Festigkeit herleiten liesse. Die vorhandenen Versuche zur Bestimmung der rückwirkenden Festigkeit der Gesteine sind zum Theil ganz unrichtig angestellt. So sind in dem geologischen Lehrbuche von Pfaff Versuche angeführt*), welche eine ganz exorbitante Festigkeit der Gesteine ergaben. Kalkstein sollte danach einen Druck von 21800 Atmosphären ertragen können. Der Fehler lag darin, dass der zu zerdrückende Stein eine viel grössere Fläche hatte als der drückende Stempel, dass also die Kraft, welche nöthig war, um das umgebende, nicht gedrückte Material zu zersprengen, nicht berücksichtigt ward.

Bekanntlich setzen elastische Körper einer geringen Ausdehnung und Zusammendrückung innerhalb ihrer Elasticitätsgrenze gleichen Widerstand entgegen. Dies macht es wahrscheinlich, dass ein wesentlicher Unterschied auch da nicht besteht, wo die Elasticitätsgrenze überschritten wird, wo der Körper also reisst oder zerdrückt wird. Man kann sich nun die Aufgabe stellen, die Last zu bestimmen, welche ein möglichst günstig belasteter Cylinder in der Richtung seiner Achse zu tragen im Stande ist, wenn nur die Kraft, mit der die Massentheilchen an einander haften, also nur die absolute Festigkeit als wirksam angesehen wird.

Es sei AB eine sehr dünne, cylindrische Scheibe aus festem, homogenem und elastischem Material, welche ohne Reibung auf einer festen, ebenen Fläche liegt; der Coëfficient der absoluten Festigkeit des Materials der Scheibe sei a. Wird ein concentrischer Ring derselben vom inneren Radius x und dem äusseren Radius $x + dx$ gleichmässig belastet, so wird er sich comprimiren und einen der Belastung entsprechenden Seitendruck nach aussen und innen ausüben. Der erstere wird den

*) Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft von Dr. Friedr. Pfaff, S. 302.

drückungen der Erdkruste in Folge der Erkaltung und Zusammenziehung ihres Kerns nicht nur in früheren Perioden, wo die Abkühlung wegen der geringen Dicke der Kruste schneller von Statten ging, die

umgebenden Ring zersprengen, wenn der Druck auf die Durchschnittsfläche des ganzen Ringes grösser wird als die absolute Festigkeit der Ringwand. Für das Gleichgewicht wäre also, da die Höhe des Ringes aus der Rechnung fällt, wenn z den für das Gleichgewicht erforderlichen Druck auf die Flächeneinheit des Ringes bezeichnet,

$$z \,.\, x = (r - x)a$$

$$z = \frac{(r-x)a}{x}.$$

Der auf der Fläche des Ringes $2x\pi \,.\, dx$ lastende Druck dP ist dann, wenn P den gesuchten Gesammtdruck bezeichnet,

$$dP = \frac{(r-x)a}{x} 2\pi x \,.\, dx = 2a\pi\,(r-x)\,dx;$$

das Integral, zwischen den Grenzen r und 0 genommen, giebt

$$P = a r^2 \pi.$$

Die Zerdrückung einer solchen, ohne Reibung gleichmässig unterstützten Scheibe würde also bei richtiger Belastung gerade so viel Kraft erfordern, als ihre Zerreissung. Bei einer gleichmässigen Belastung der Oberfläche würden die äusseren Ringe früher brechen, die Druckfestigkeit würde also geringer sein. Ein richtiger Ausdruck für die Druckfestigkeit würde durch diese Rechnung nur dann gewonnen, wenn der Seitendruck, welchen ein gedrücktes Massentheilchen ausübt, dem Drucke selbst gleich wäre, wie bei Flüssigkeiten, was aber nicht der Fall ist. Da der Seitendruck aber geringer und von der Natur des Materials abhängig ist, so muss die Druckfestigkeit grösser sein, als die obige Rechnung ergiebt. Die Rechnung zeigt aber, dass die Druckfestigkeit von der Vertheilung des Druckes auf der Oberfläche des gedrückten Körpers abhängig ist, und erklärt, warum Druckfestigkeitsversuche stets so wenig übereinstimmende Resultate gaben.

Sehr modificirt wird die Festigkeit gegen das Zerdrücken unter Umständen durch die Gewölbebildung. Als ein vollkommenes Gewölbe kann man eine Hohlkugel von gleichmässiger homogener Wandstärke betrachten. Wird eine solche einem ganz gleichförmigen, äusseren Druck ausgesetzt, so muss sie sich dem Druck entsprechend zusammenziehen, ohne zu brechen. Es ergiebt sich dies aus der Betrachtung, dass ein Ausweichen der Molecüle der Kugelschaale nach aussen nicht eintreten kann, da dieselben ganz gleichmässig durch den äusseren Druck in ihrer Lage zurückgehalten werden. Ebensowenig kann ein Ausweichen nach innen stattfinden, da hiermit, der Concavität der inneren Fläche wegen, eine grössere Annäherung der Molecüle aneinander, also eine grössere locale Compression verbunden wäre, als dem äusseren Drucke entspricht. Das Resultat des äusseren Druckes kann daher nur eine gleichmässige, ihm entsprechende Verminderung des Durchmessers der Hohlkugel sein. Wird die Kugelschale dagegen von inneren, anstatt äusseren Kräften comprimirt, so gelten diese Betrachtungen für die äussere Fläche nicht. Hier kann ein Ausweichen der Molecüle durch die resultirenden Tangentialkräfte unbehindert eintreten. Die Erhebungen von Theilen der Erdrinde durch solchen überwiegenden tangentialen Druck mussten daher auch stets nach aussen und nicht nach innen erfolgen. Es ergiebt sich hieraus auch, dass Kanäle in Felsmassen bis in die grössten Tiefen hinabreichen können, ohne zusammengedrückt zu werden. Dass dieselben wirklich kreisförmige Querschnitte haben, ist hierbei nicht nothwendig, da sich die Flächen grössten Widerstandes oder die Gewölbeflächen in

jetzige Gestaltung der Erdoberfläche hervorgebracht haben, sondern auch, dass diese Thätigkeit noch heute fortdauere und dass die bei der Zusammendrückung, Zertrümmerung oder mit Reibung verbundenen Verschiebung der Gesteine in den Linien geringster Festigkeit geleistete Arbeit eine locale Schmelzung der Gesteine durch Umsetzung in Wärme hervorbrächte, deren Producte dann zum Theil als Lavaergüsse der Vulcane zu Tage treten. Roth hat bereits hervorgehoben, dass diese Verschiebungen und Zerdrückungen einen langsamen, auf grosse Zeitabschnitte ausgedehnten Verlauf haben müssen, und daher die zur Schmelzung der Gesteine nothwendige Hitze nicht hervorbringen können. Es dürfte auch ausserdem unmöglich sein, die grossen Mengen der Gase und des Wassers, welche die Vulcane entbinden, durch solche locale Erhitzungen und Gesteinschmelzungen zu erklären.

Wenn nun aber sowohl aus mechanischen, als aus geologischen Gründen die Ansicht der vollständigen Erstarrung des Erdkörpers verworfen und an der Ansicht festgehalten werden muss, dass das Erdinnere noch feurigflüssig oder wenigstens noch im plastischen Zustande von einer festen Rinde von mässiger Dicke umgeben ist, so fragt es sich, welche Kräfte die Eruptivgesteine früherer Perioden und noch heute die Laven bis zu den Mündungen hoch gelegener Krater emporhoben. Bei der nachgewiesenen geringen Widerstandskraft der festen Rinde muss man von einem Ueberdrucke des flüssigen Innern ganz absehen, denn einmal ist bei der stets fortschreitenden Abkühlung desselben kein Grund zu erkennen, welcher einen solchen Ueberdruck hervorbringen könnte, und dann würde schon der geringste Ueberdruck durch ein allmähliches Nachgeben der gegen inneren Druck so wenig widerstandsfähigen Kruste wieder ausgeglichen werden. Es folgt aber hieraus auch, dass die Kruste überall, wenigstens in allen grösseren Abschnitten, von der unterlagernden, flüssigen oder plastischen Masse getragen werden muss, dass also überall in der Erde hydrostatisches Gleichgewicht herrschen muss. Nun müssen die leichtflüssigen alkalinischen und wasserhaltigen Laven, welche sich zwischen den zusammengeballten, zähen, die Grundlage der festen Kruste bildenden Silicatmassen in verhältnissmässig engen Kanälen und Hohlräumen im flüssigen Zustande erhalten haben, ein geringeres specifisches Gewicht haben, als die Erdrinde und die zähflüssigen Silicatmassen. Eröffnet sich ihnen daher durch Spaltungen in den jüngst erstarrten unteren Schichtungen der festen Hülle ein Zugang zu den in dieser noch vorhandenen älteren, zur Oberfläche führenden Kanälen, so muss die Lava in ihnen empor-

der umgebenden Felswand selbstthätig bilden. Es ergiebt sich ferner, dass von einer Gewölbewirkung grösserer Theile der festen Erdrinde, durch welche nach Ansicht mancher Geologen die Bildung grosser Hohlräume unter derselben ermöglicht werden soll, nicht die Rede sein kann. Es fehlt eben die Grundbedingung für die Gewölbewirkung, der gleichmässige, auf die äussere Fläche wirkende Druck.

steigen, bis das hydrostatische Gleichgewicht hergestellt oder der Kanal durch nachdringende zähflüssige Massen wieder verstopft ist. Dieser Auftrieb der flüssigen Laven durch hydrostatischen Druck wird in den höher gelegenen Kratertheilen durch Dampf und Gase, welche sich bei vermindertem Drucke aus den Laven entbinden, noch wesentlich verstärkt werden. Eine schwieriger zu beantwortende Frage bleibt aber die, wie eine neue Eruptionsthätigkeit entstehen kann, wenn der der vorhergehenden Eruption dienende Kratergang durch erkaltete Lava geschlossen ist. Allein durch neu entstehende Spaltungen, welche neue Wege vom Erdinnern zu dem Kraterkanal eröffnen, erklärt sich die Sache nicht, wenn denselben auch eine wesentliche Mitwirkung zugeschrieben werden muss. Um den alten, durch erstarrte Lava verstopften Kanal wieder zu öffnen, ist offenbar Schmelzhitze erforderlich, die nicht von aus der Tiefe neu andringender, flüssiger Lava hergegeben werden kann, da diese selbst dadurch bald zum Erstarren gebracht würde. Doch kann man eine einigermassen befriedigende Erklärung der Erscheinung, dass die alten Lavawege sich wieder öffnen, wohl darin finden, dass die Lava bei ihrer Erstarrung aus dem dünnflüssigen Zustande sich um mindestens $^1/_{10}$ ihres Volums zusammenzieht und dass der zähe Zustand, den sie dabei annimmt, sie verhindert, im Kraterkanale wieder niederzusinken. Sie wird daher vielfach zerklüftet erstarren, kann daher auch nach der Erstarrung brennbaren Gasen und glühenden Wasserdämpfen, die aus dem Innern von Neuem hervordringen, den Durchgang gestatten. Diese werden theils durch Abgabe ihrer eigenen Wärme, theils durch die Wärme, welche durch Verbrennung der Gase mit von oben oder durch Seitenwege eingedrungener Luft erzeugt wurde, die von frühern Ausbrüchen zurückgebliebenen Laven wieder zum Schmelzen bringen und dadurch eine neue Ausbruchperiode einleiten. Die erste Veranlassung zu einer neuen Eruption werden wohl, wie schon erwähnt, immer neuentstehende Spaltungen in den tieferen Schichten der Rinde in der Umgebung des Kraters geben. Die Erfahrung, dass Ausbrüche ruhender Vulcane fast immer durch Erdbeben angekündigt werden, spricht auch dafür. Dass gerade in der Umgegend von Vulcanen, mögen sie noch thätig oder erloschen sein, häufig Erdbeben auftreten, beweist jedoch nicht, dass die Erdbeben Folge der vulcanischen Thätigkeit sind; es ist wahrscheinlich umgekehrt anzunehmen, dass Gegenden, welche häufigen Erdbeben ausgesetzt sind, die vulcanische Thätigkeit begünstigen. Dass häufig Risse in den jüngeren Gesteinbildungen der inneren Krustenseite auftreten müssen, erscheint unzweifelhaft. Diese Ablagerungen werden ganz verschiedener Natur sein je nach der örtlichen Beschaffenheit des Magma, aus dem sie sich ausschieden. Ihr Contractions-Coëfficient wird daher ebenfalls ganz verschieden sein. Bei fortschreitender Abkühlung dieser unteren Schichten müssen daher örtliche Spannungen eintreten, die zum Reissen

der von anderen eingeschlossenen, sich stärker zusammenziehenden Massen führen müssen. Dies wird noch dadurch begünstigt, dass diese jüngeren Gesteine fest verbunden mit der älteren, bereits in früheren Perioden vielfach zerklüfteten Rinde sind, welche jetzt nur noch geringen Temperaturänderungen unterworfen ist. Sowie von zwei aneinander geschmolzenen Glastafeln diejenige bei der Abkühlung zerspringen muss, welche sich stärker zusammenzieht, so müssen auch die jüngern Gesteine bei ihrer Abkühlung platzen. Das Entstehen solcher, vielleicht weite Strecken fortlaufender, weit auseinander klaffender Risse muss auf der Oberfläche nothwendig als Erschütterung wahrgenommen werden, die um so stärker sein muss, je älter das zersprungene Gestein ist, je näher also die Spaltungen zur Oberfläche hinauf reichten. Auch in den oberen, neptunisch gebildeten Gesteinschichten können sich unter Umständen Spaltungen aus denselben Ursachen bilden. Eine entstandene Spaltung wird in der Regel mehrere andere im Gefolge haben, bis das elastische Gleichgewicht wieder hergestellt ist und die Spalten durch die benachbarten und tiefer liegenden Massen unter dem herrschenden Drucke wieder ausgefüllt sind.

Man muss nun annehmen, dass in vulcanischen, häufigen Erdbeben ausgesetzten Gegenden solche Spaltungen durch die Natur des Gesteins und der dasselbe umgebenden Gesteinmassen besonders begünstigt sind. Es können auch häufig durch tangentiale Kräfte bewirkte, locale Verschiebungen der Erdrinde in Folge fortschreitender Verminderung des Volums des flüssigen Kerns die Veranlassung zur Zerreissung von Gesteinschichten bilden.

Man wird sich demnach die Grundlage der Vulcane als aus bereits vielfach zerklüfteten und zu immer weiteren Zerklüftungen disponirten Gesteinschichten zu denken haben, in die der wahrscheinlich ebenfalls vielfach verzweigte Kratergang hinabreicht. Die älteren Zerklüftungen sind durch hineingepresstes zähes und schwer schmelzbares, später durch Abkühlung erstarrtes Magma ausgefüllt. Durch neu entstehende Spalten, welche ihrerseits wieder andere hervorrufen, können Brüche entstehen, welche durch Bildung domartiger Kuppelgewölbe dem Druck der höher lagernden Steinmassen entzogen werden. In diese dringt das entlastete plastische Magma ein, doch eilen ihm die eingeschlossenen leichtflüssigen Laven sowie die entfesselten Dämpfe und Gase voraus. Ist nun gleichzeitig eine Verbindung mit dem zur Oberfläche führenden Kratergange durch die neuen Spalten hergestellt, so beginnen die letzteren, indem sie durch die Spalten der älteren Füllung des Kraterganges entweichen, ihre erhitzende und schmelzende Thätigkeit, bis schliesslich die über dem plastischen Magma angesammelte Lava durch den hydrostatischen Druck, der auf sie ausgeübt wird, im wieder aufgeschlossenen Kratergange emporgetrieben wird. Ob sie die Mündung erreicht und zu Tage tritt, hängt von der Menge der angesammelten

leichtflüssigen Lava, aber auch von der Höhe des Vulcans und dem specifischen Gewichte, sowie dem Gas- und Wassergehalte der Lava ab. Sehr hohe Vulcane geben zum Theil keine Laven mehr, sondern sie stossen nur mächtige Flammen und Wasser aus. Das hydrostatische Gleichgewicht wird bei ihnen bei der jetzigen Beschaffenheit der Lava schon hergestellt werden, bevor die Lavasäule bis zum Gipfel des Kraters gestiegen ist. Es mag dies auch der Grund sein, warum die noch thätigen Vulcane meistens im oder am Meere liegen.

Wenn aber auch der Mechanismus der vulcanischen Thätigkeit und mancher anderer geologischer Thatsachen durch die Annahme einer festen, auf einer feuerflüssigen oder plastischen Masse schwimmenden Erdkruste in einigermassen befriedigender Weise erklärt werden kann, so besteht doch noch eine Thatsache, welche nur durch Einführung einer weiteren neuen Hypothese mit dieser Annahme in Einklang zu bringen ist. Es ist dies die bedeutende Erhebung der Continente über den Meeresboden und die noch jetzt fortdauernde seculäre Hebung vieler Landstrecken. Die Höhendifferenz zwischen dem Hochplateau Asiens und dem Boden des stillen Meeres wird man mindestens auf 12 000 Meter und, wenn man das auf Gesteingewicht reducirte Gewicht des Meerwassers in Abzug bringt, auf 10 000 Meter veranschlagen können. Es repräsentirt das eine Druckdifferenz von ca. 1000 Atmosphären. Bei der nachgewiesenen geringen Festigkeit der Erdrinde erscheint es unabwendbar, dass das Hochplateau von Asien und mit ihm die übrigen Continente sich bis zur Gleichgewichtslage niedersenken und der Boden der Meere sich bis zu derselben wieder erheben müsste. Will oder kann man daher die Annahme eines feuerflüssigen Erdinnern nicht aufgeben, so muss man annehmen, dass das nothwendige hydrostatische Gleichgewicht durch die Verschiedenheit des specifischen Gewichtes der Gesteine, welche die Continente und den Meeresboden bilden, hergestellt ist, dass also der Meeresboden aus schwererem Gestein besteht als die Continente, oder auch, dass die unter der festen Hülle befindlichen halbflüssigen Massen eine solche Dicke und ein so verschiedenes specifisches Gewicht haben, dass die Druckdifferenz dadurch ausgeglichen wird. Die seculäre Hebung wäre dann die locale Fortbildung dieses Unterschiedes.

Beiträge zur Theorie des Elektromagnetismus.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 23. Juni.)

1881.

Veranlassung zu dieser Untersuchung gab mir die Frage, welchen Einfluss auf die Grösse der Magnetisirung der im Eisen eines Elektromagnetes bereits vorhandene oder gleichzeitig in ihm in einer anderen Richtung durch äussere Kräfte hervorgerufene Magnetismus ausübt.

Die Ampère'sche Theorie verlangt die Annahme eines solchen Einflusses, wenn man mit Wilhelm Weber annimmt, dass der Magnetismus, in Uebereinstimmung mit Müller's Versuchen, in den magnetischen Körpern stets vollständig, aber in einer begrenzten Menge vorhanden ist. Giebt es aber nur eine begrenzte Zahl von Elementarmagneten oder von sie ersetzenden Solenoiden im Eisen, so kann eine magnetisirende oder richtende Kraft nicht dieselbe Wirkung haben, wenn eine auf ihr senkrecht stehende Richtkraft gleichzeitig auf die Elementarmagnete drehend einwirkt. Es ergiebt sich dies für das Maximum der Magnetisirung ohne Weiteres aus der Betrachtung, dass man zwei gleichzeitig auf eine Eisenmasse wirkende Kräfte, die dieselbe in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen zu magnetisiren bestrebt sind, immer durch eine dritte in der Richtung und Stärke der Resultante dieser Kräfte wirkende Kraft ersetzen kann. Die Magnetisirung der Eisenmasse wird daher im Sinne der Resultante der magnetisirenden Kräfte erfolgen und wird in dieser Richtung ihr Maximum erreichen. Das magnetische Moment der in der Richtung dieser Resultante gerichteten Elementarmagnete muss daher in der Richtung der wirksamen, hier als gleich gross angenommenen Kräfte $\sqrt{\frac{1}{2}}$ betragen. Es muss dies wenigstens dann der Fall sein, wenn der magnetisirte Eisenkörper eine Kugel ist und das Maximum der Magnetisirung in der Richtung der Componente der Kräfte wirklich erreicht wird. Für Eisenmassen mit verschiedenen Dimensionen complicirt sich diese Betrachtung durch die

Verschiedenheit der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus, welche die magnetisirten Eisenmolecüle auf einander ausüben, worauf ich später zurückkommen werde.

Durch Versuche ist diese Folgerung aus der Ampère-Weber'schen Theorie bisher meines Wissens noch nicht bestätigt. Es hat dies zum Theil wohl darin seinen Grund, dass der Vorgang der Magnetisirung der magnetischen Körper überhaupt noch nicht in allen Richtungen aufgeklärt ist, wodurch die experimentelle Entscheidung einer bestimmten Frage sehr erschwert wird, zum Theil bei dieser speciellen Frage aber darin, dass es schwer fiel, den störenden Einfluss der starken magnetisirenden Kräfte selbst auf die Messung eines bestimmten magnetischen Momentes des Eisens zu eliminiren. Um dies zu erzielen, war es nöthig, besonders geformte Elektromagnete in Anwendung zu bringen, bei denen sowohl die magnetisirende Kraft, wie der von ihr im Eisen erzeugte Magnetismus der einen Richtung ohne Einfluss auf die Angaben des Mess-Apparates blieben, mit dem die Magnetisirung in einer anderen Richtung gemessen wurde.

Diese Bedingung wird erfüllt durch ein gerades Eisenrohr, welches mit der Axe parallel laufenden, isolirten Drähten derart umwunden ist, dass die äussere und die innere Wandfläche des Rohres gleichförmig mit parallen Drähten bedeckt sind. Eine solche longitudinale Umwindung — wie sie bei dem in der Elektrotechnik vielfach verwendeten Pacinotti'schen Ringe zur Verwendung kommt — bewirkt, wenn sie von einem elektrischen Strome durchlaufen wird, in allen ihren Theilen eine Magnetisirung der Rohrwand im Sinne der Tangenten des Rohres, so dass das Rohr einen in sich selbst geschlossenen Ring-Magnet darstellt. Wie Kirchhoff[1]) nachgewiesen hat, übt ein solcher, in sich geschlossener Ring-Elektromagnet keine Wirkung nach aussen aus. Für die Axe des Eisenrohres ergiebt sich dies auch schon aus der Betrachtung, dass alle Theile der Rohrwand, sowie die longitudinalen Windungen symmetrisch zu der Axe liegen und dass die magnetische Fernwirkung entgegengesetzt liegender Windungen und magnetisirender Eisentheile sich in Bezug auf sie aufhebt. Umgiebt man nun das longitudinal umwickelte Eisenrohr mit einer zweiten äusseren, transversal gewickelten Spirale, welche, von einem Strome durchlaufen, das Eisenrohr im Sinne der Axe des Rohres magnetisirt, so ist die Summe der magnetischen Momente der Spirale und des Eisenrohres in dieser Richtung an einem in der Axe des Rohres aufgestellten Spiegel-Magnetometer zu messen, während ein Strom durch die longitudinalen Windungen und der durch sie hervorgerufene tangentiale Magnetismus der Rohrwand ohne Einfluss auf das Magnetometer bleiben.

Bei den Versuchen wurde ein Eisenrohr von 15 mm innerem

[1]) Pogg. Ann. Ergänzungsbd. 5, S. 1.

Durchmesser, 150 mm Länge und 3 mm Wandstärke benutzt, welches mit 36 longitudinalen Windungen von 1 mm dickem Kupferdrahte versehen war. Das longitudinal umwundene Rohr wurde in eine Drahtspirale aus 328 Windungen gleichen Drahtes 100 mm Länge gesteckt. Das Rohr ragte etwa 25 mm auf beiden Seiten aus der Spirale heraus. Die Wirkung der Spirale auf das Galvanometer wurde durch eine zweite, von der ersteren entfernten Spirale compensirt, welche eine Verlängerung des Drahtes der ersteren bildete, so dass beide Spiralen stets von demselben Strome durchlaufen wurden.

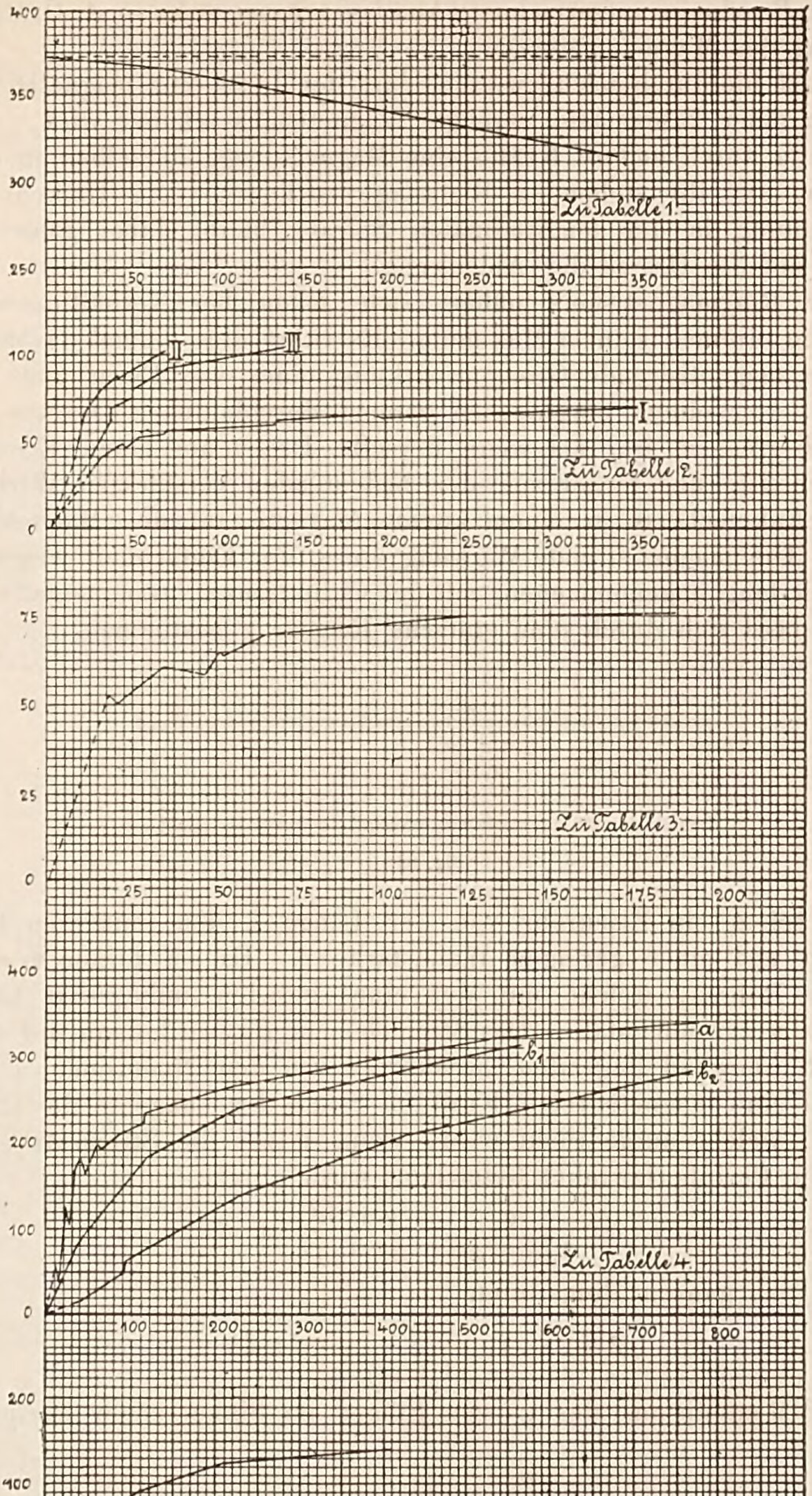
Wurde nun das so umwundene Eisenrohr senkrecht zum Meridian in die Richtung nach einem Magnetometer mit aperiodisch schwingendem Glockenmagneten gebracht und ein Strom von etwa 10 Bunsen-Elementen durch die äussere Spirale *B* geschickt, so gab das Magnetometer einen Scalenausschlag, der ein Mass des im Sinne der Axe des Rohres erzeugten Magnetismus bildete. Es wurde demnächst nach einander eine Batterie von 1 bis 8 Elementen gleichzeitig in die innere (longitudinale) Spirale *A* eingeschaltet. Die Ablenkung des Magnetometers verminderte sich in Folge dessen, und zwar nahm diese Verminderung mit der Verstärkung der Batterie in der longitudinalen Spirale zu.

Die Versuche wurden so angestellt, dass erst die Ablenkung des Magnetometers bei Einstellung der Batterie in die äussere (transversale) Spirale ohne Strom in der longitudinalen Spirale abgelesen, dann nach einander stärkere Batterien in die longitudinale Spirale eingeschaltet und die dann erfolgenden Ablenkungen beobachtet wurden:

Tabelle 1.

Elemente in A.	Elemente in B.	Strom in A.	Strom in B.	Ablenkung des Magnets.
0	10	0	158	372
1	10	67	158	364
2	10	117	156	353
4	10	195	155	336
8	10	340	155	308
0	10	0	154	366
8	10	338	152	306
0	10	0	151	365
0	0	0	0	0

Wie hieraus ersichtlich, nahm der dem Strom in *B* entsprechende Ausschlag des Magnetometers während der Versuche ab, was offenbar von der gleichzeitigen Abnahme des Stromes in *B* herrührt. In der Curve zu Tab. 1 (Fig. 38) sind diese Versuche auf gleich starken



Zu Tabelle 1.
Zu Tabelle 2.
Zu Tabelle 3.
Zu Tabelle 4.
Zu Tabelle 5.
I
II
III
a
b1
b2

Fig. 38.

Strom in B reducirt aufgezeichnet (Abscisse: Stromstärke in A, Ordinate: Ausschlag des Magnetometers).

Es ist hierdurch nachgewiesen, dass der durch eine magnetisirende Kraft in einer Eisenmasse erzeugte Magnetismus kleiner wird, wenn gleichzeitig durch andere Kräfte eine Magnetisirung derselben in einer senkrecht auf ihr stehenden Richtung stattfindet. Die Umkehr der Stromrichtung in der longitudinalen Spirale bleibt dabei ganz ohne Einfluss auf die Grösse der Ablenkung.

Der Ringmagnetismus nähert sich schon bei verhältnissmässig schwachen Strömen seinem Maximum. Es rührt dies einmal davon her, dass die magnetisirende Gesammtwirkung eines von Eisen ganz umgebenen, von einem elektrischen Strome durchlaufenen Drahtes eine sehr viel grössere ist, als wenn derselbe Draht um einen Eisenstab gewunden ist, und ferner von der bedeutenden verstärkten Wirkung, die der Ankerschluss in einem kurzen Magnete auf den Magnetismus ausübt. Die magnetisirende Wirkung eines, der Einfachheit wegen als unendlich lang angenommenen, mit der Cylinderaxe zusammenfallenden Drahtes lässt sich durch eine einfache Rechnung bestimmen.

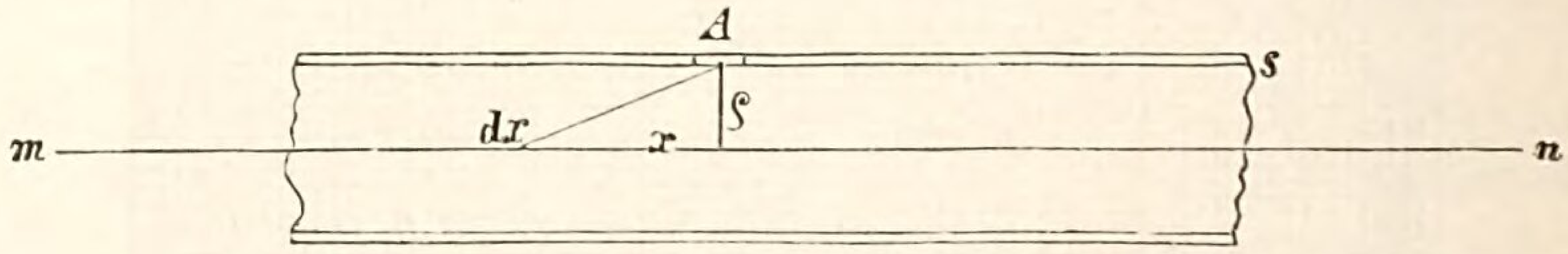


Fig. 39.

Es sei A ein Eisenrohr von der Länge l, dem mittleren Halbmesser ϱ und einer geringen Wandstärke s. Es sei ferner $m\,n$ die Axe des Rohres, welche mit der eines geraden unbegrenzt langen Leiters $m\,n$ zusammenfällt. Das Stromelement dx wird dann auf einen in der Röhrenwand liegenden Eisenkörper von den Dimensionen $\varrho\,.\,d\alpha$, s und dl eine magnetisirende Kraft im Sinne der Tangente des Rohres ausüben, welche ausgedrückt wird, wenn mit i die Stromstärke und mit α der Peripheriewinkel bezeichnet wird, durch:

$$i\,.\,dx\,\frac{\varrho}{\sqrt{\varrho^2+x^2}}\cdot\frac{\varrho+d\alpha}{x^2+\varrho^2}\cdot s\cdot dl$$

oder für den ganzen Ring durch

$$2\,\pi\,.\,s\,.\,i\,\frac{\varrho^2}{(x^2+\varrho^2)^{\frac{3}{2}}}\cdot dx\,dl.$$

Der Magnetismus des ganzen Ringes im Sinne seiner Peripherie ist dann

$$2\,\pi\,s\,i\,dl\int\limits_{-\infty}^{\infty}\frac{\varrho^2\,.\,dx}{(x^2+\varrho^2)^{\frac{3}{2}}}=4\,\pi\,s\,i\,dl;$$

und da auf alle Ringe der ganzen Rohrlänge dieselbe Wirkung stattfindet, hat der Magnetismus des ganzen Rohres von der Länge l den Werth

$$M = 4\,\pi\,l\,.\,s\,.\,i.$$

Da der Werth von ϱ in diesem Ausdrucke nicht mehr vorkommt, so ist der Durchmesser des Rohres auf die Grösse des erzeugten Magnetismus ohne Einfluss. Der in der Eisenwand eines Rohres durch einen centralen unbegrenzten Leiter erzeugte Gesammtmagnetismus ist daher unabhängig von dem Durchmesser des Rohres und direct proportional seiner Länge und seiner Wandstärke.

Zur Prüfung der Richtigkeit dieses Rechnungsresultates wurden 3 Eisenröhren von gleicher Länge, aber verschiedener Wandstärke und verschiedenem Durchmesser angefertigt, und jedes der Rohre mit zwei longitudinalen Spiralen versehen. Die primäre Spirale bestand bei jedem Rohre aus 90, die secundäre aus 30 Windungen. Durch die primäre Spirale wurden Ströme wechselnder Richtung geschickt und der in der secundären Spirale durch die Umkehr des Magnetismus erzeugte inducirte Strom durch den Ausschlag des Spiegelgalvanometers gemessen. Die Dimensionen der Eisenrohre *a*, *b* und *c* von 100 mm Länge waren

	Lichtweite mm	Wandstärke mm
a)	10,8	2,3
b)	11,0	4,5
c)	17,4	4,5.

Die Resultate der Versuche sind in Tab. 2 und den zugehörigen Curven der Fig. 38 enthalten; in den Curven ist die Stromstärke Abscisse, der Magnetismus Ordinate. Wie aus dem Diagramm I ersichtlich, in welchem die horizontalen Abscissen die gemessene Stromstärke, die verticalen die durch die zugehörigen Inductionsspiralen erzeugten Ausschläge bedeuten, ist der durch diese gemessene Magnetismus der Wandstärke ziemlich proportional, während die grössere lichte Weite zwar einen vermindernden Einfluss ausübt, der aber nicht bedeutend ist und durch die Art der Messung seine Erklärung findet. Genaue Uebereinstimmung liess sich bei diesen Versuchen aus dem Grunde nicht erwarten, weil die Beschaffenheit des Eisens bei Elektromagneten einen wesentlichen Einfluss ausübt.

Es ist bisher nur die directe magnetisirende Wirkung, welche ein mit der Ringaxe zusammenfallender Strom auf das Eisenrohr ausübt, in Betracht gezogen, nicht die verstärkende Wirkung, welche die durch den Strom aus ihrer Gleichgewichtslage im Sinne der Magnetisirungsrichtung abgelenkten Elementarmagnete oder Selenoide auf einander ausüben und dadurch den Magnetismus vermehren. Es ist schwer, sich

von dieser verstärkenden Molecularwirkung, welche eine so wesentliche Rolle bei den elektromagnetischen Erscheinungen bildet, Rechenschaft zu geben, wenn man an der Ampère-Weber'schen Anschauung festhält, dass die Molecularmagnete mit gleichmässigem Abstande ihrer Mittelpunkte in allen möglichen Richtungen gelagert sind. Es ist auch kaum denkbar und meines Wissens auch niemals nachzuweisen versucht, dass bei dieser Annahme die Wirkung der beliebig geformten Grenzschichten des Körpers ganz ohne Einfluss blieben und an keiner Stelle eines nicht magnetisirten Eisenkörpers eine Fernwirkung der Molecularmagnete auftreten könne. Diese Schwierigkeit wird gehoben und gleichzeitig eine leicht übersichtliche Erklärung für viele elektromagnetische Erscheinungen gewonnen, wenn man die Ampère-Weber'sche Theorie durch die Annahme modificirt, dass jedes Eisen-Molecül aus zwei mit entgegengesetzten Polen nahe gegenüberstehenden Elementarmagneten besteht, die zusammen in jeder Richtung frei und ohne Arbeitsaufwand drehbar sind, während jedes Molecularmagnetpaar durch äussere magnetisirende Kräfte in ähnlicher Weise auseinander gedreht wird, wie es mit einem astatischen Nadelpaare der Fall sein würde, wenn die Magnetnadeln sich einzeln in ihren parallelen Schwingungsebenen drehen könnten. Wird der Abstand der Elementarmagnete von einander als klein dem Abstande der gepaarten Molecüle gegenüber angenommen, so kann eine Fernwirkung der nicht durch äussere Kräfte magnetisirten Eisenmasse auch an den Grenzflächen des Körpers nicht eintreten. Tritt dagegen eine richtende äussere Kraft auf, so muss dieselbe die beiden Elementarmagnete der gepaarten Eisenmolecüle in verschiedenem Sinne drehen, so dass alle Nordpole der einen, alle Südpole der entgegengesetzten Richtung zugewendet werden. Wenn keine Wirkung der so magnetisirten Eisenmolecüle auf einander stattfände, so müsste das Kräftepaar, welches als magnetisirende Kraft die Elementarmagnete eines Molecüls aus einander zu drehen bestrebt ist, gleich der Kraft sein, mit der die aus ihrer Ruhelage getriebenen Elementarmagnetpole der Drehung entgegen auf einander wirken. Es findet aber ausserdem eine gegenseitige Anziehung zwischen den entgegengesetzten Polen aller so gerichteten Elementarmagnetpole und eine Abstossung zwischen allen gleichen Polen statt, deren Resultante eine Verstärkung der durch die magnetisirende Kraft direct erzeugten Drehung ergiebt. Diese verstärkende Wechselwirkung findet nur in der Richtung der Magnetisirung statt, da die Wechselwirkungen neben einander liegender Molecularmagnetgruppen sich ausgleichen. Die Erscheinung der Remanenz des Magnetismus oder der magnetischen Coërcitivkraft, sowie die Erwärmung der Elektromagnete durch häufigen schnellen Polwechsel verlangen ferner die Annahme, dass sich der Drehung der Elementarmagnete gegeneinander ein Reibungswiderstand entgegensetzt, während die gepaarten Molecüle sich, wie angenommen, widerstandslos in jeder Richtung drehen

können. Dieser Reibungswiderstand begrenzt die gegenseitige Verstärkung der Drehung der Elementarmagnete und verhindert andererseits das vollständige Verschwinden des Magnetismus nach Aufhören der äusseren magnetisirenden Kraft.

Durch Annahme dieser Modification der Ampère-Weber'schen Theorie finden manche bisher unklare magnetische Erscheinungen ihre einfache Erklärung. Es muss nach ihr der Magnetismus eines Eisenstabes, auf dessen sämmtliche Molecüle eine gleiche magnetisirende Kraft ausgeübt wird, mit der Länge des Stabes so lange zunehmen, bis ein Gleichgewichtszustand zwischen allen Drehungs- und Reibungsmomenten sämmtlicher im Sinne der Magnetisirung voreinanderliegenden Molecularmagneten eingetreten ist.

Es muss die Mitte des Stabes daher am stärksten magnetisirt werden und hier am ehesten eine Annäherung an das Maximum der Magnetisirung eintreten. Es muss ferner ein dünner Stab durch gleiche auf ihn einwirkende Kräfte stärker magnetisirt werden, sich also auch früher dem Maximum der Magnetisirung nähern wie ein dicker, da beim dünnen Stabe alle verstärkend auf einander wirkenden Molocularmagnete mehr direct hinter einander liegen, die Gesammtwirkung daher grösser sein muss. Da die Molecüle der Endflächen der Elektromagnet-Stäbe nur der den Magnetismus verstärkenden Wirkung der Molecularmagnete von einer Seite ausgesetzt sind, so muss der Magnetismus der Endflächen kurzer Stäbe gleich sein der Hälfte des Magnetismus der Mitte des Stabes + der directen Magnetisirung durch die magnetisirende Kraft. Dass diese letztere directe Drehung klein ist im Vergleich mit der der gegenseitigen Verstärkung, folgt aus der starken Magnetisirung kurzer geschlossener Ring- oder Hufeisenmagnete durch schwache magnetisirende Kräfte. Bei einem solchen in sich geschlossenen Ringmagnete muss die Magnetisirung eines jeden Querschnittes des Ringes sich verhalten, wie die des Querschnittes durch die Mitte eines sehr langen Magnetstabes, da im Ringe die verstärkende Wirkung ebenso wie die äussere magnetisirende in jedem Querschnitte dieselbe ist. Die Grösse der Magnetisirung eines geschlossenen Ringmagnetes wird daher einmal durch das Maximum der Magnetisirbarkeit des Eisens und zweitens durch die Summe der Reibungswiderstände der Molecularmagnete des ganzen Kreises bedingt. Bei gleicher magnetisirender Einwirkung auf alle Molecularmagnete durch äussere Kräfte muss daher die verstärkende Wirkung mit der Länge des zum Ringe gebogenen Eisens abnehmen. Es musste daher auch bei den oben beschriebenen Versuchen das weitere Rohr *c* durch gleiche magnetisirende Kräfte einen geringeren Magnetismus annehmen wie das engere Rohr *b* von gleicher Wandstärke. Wie schon aus den oben mitgetheilten Versuchen sich ergiebt und durch die späteren sich noch bestimmter herausstellen wird, genügt schon ein verhältnissmässig schwacher Strom in der magnetisirenden

Spirale, um den Ringmagnetismus der Maximalmagnetisirung zu nähern. Es muss mithin die gegenseitige Verstärkung des Magnetismus der Molecularmagnete die directe Magnetisirung durch die äussere magnetisirende Kraft bedeutend überwiegen. Es wird dies auch durch die Thatsache bestätigt, dass eine dünne Eisenscheibe, die auf die Polfläche eines starken Magnetes gelegt wird, von diesem nicht merklich angezogen wird, wenn die Ränder der Scheibe nicht über die Polflächen hinausragen, dass aber sofort eine starke Anziehung eintritt, wenn ein Theil der Eisenplatte über den Rand der Polfläche hinausragt.

Ein Widerspruch gegen diese Anschauung schien darin zu liegen, dass die Tragkraft von geschlossenen Hufeisenmagneten nach einigen Beobachtern mit dem Quadrat des Magnetismus, nach anderen wenigstens in einem viel höheren Verhältnisse, wie der Magnetismus selbst, zunehmen soll. Wie aus den folgenden Versuchen sich ergiebt, ist die Tragkraft eines kurzen Ring- oder Röhrenmagnetes aber nahe direct proportional dem durch Induction gemessenen wirksamen Magnetismus. Dass dies der Fall sein muss, ergiebt sich aus der Betrachtung, dass die magnetische Anziehung zweier unendlich naher Querschnitte des Ringes der Summe der gegenseitigen Anziehung aller magnetisirten Molecularmagnete auf beiden Seiten der Schnittfläche gleich sein muss, dass diese Summe aller anziehenden Kräfte aber auch als der im Ringquerschnitte thätige Magnetismus zu betrachten ist. Die abweichenden Beobachtungen werden durch zu grosse Länge des magnetischen Kreises, durch unvollkommene Berührung der Anker- und Magnetflächen und durch zu geringe Grösse der Berührungsflächen zu erklären sein.

Es wurde ein Röhrenmagnet von 10,8 mm lichter Weite, 2,3 mm Wandstärke und 150 mm Länge so hergerichtet, dass er durch einen durch die Rohraxe gehenden Schnitt in zwei Halbcylinder getheilt wurde. Die Röhrenhälften wurden sorgfältig aufeinander geschliffen und jede mit einer Hälfte der beiden Drahtspiralen umwunden. Durch passende Vorrichtungen konnte nun das Gewicht bestimmt werden, welches erforderlich war, um die Röhrenhälften auseinander zu reissen, und gleichzeitig der in der Inductionsspirale bei der Trennung entstehende Inductionsstrom gemessen werden. In der folgenden Tabelle 2 (S. 343, 344) enthält die erste Verticalspalte die Stromstärke der Magnetisirungsspirale, die zweite den beim Abreissen entstehenden inducirten Strom, die dritte die Abreissgewichte in Kilogramm, die vierte den Quotienten der Zahlen der beiden letzten Spalten. Diese Quotienten der vierten Spalte sollten alle gleich sein, wenn die Tragkraft dem thätigen Magnetismus direct proportional war. Wie ersichtlich, finden beträchtliche Abweichungen statt, und die Quotienten nehmen mit steigender Stromstärke etwas ab. Es kann dies aber auch der grösseren Zusammenpressung der Schnittflächen, der Verbiegung und anderen mechanischen Ursachen zugeschrieben werden.

Eine zweckmässigere Form ist diesem Röhrenmagneten dadurch zu geben, dass das Eisenrohr zum Kreise gebogen wird. Ist der von Eisen rings umschlossene, ringförmige Hohlraum mit einer passend gewickelten Drahtspirale ausgefüllt, nachdem das kreisförmige Rohr durch einen Schnitt durch die grösste Ringebene in zwei gleiche Halbringe getheilt und dadurch das Einlegen der Drahtspirale ermöglicht ist, so

Tabelle 2.

a) Eisenrohr I.

Wandstärke = 2,3 mm; Lichtweite 10,8 mm.

Primärer Strom.	Secundärer Strom.	Abreiss-Gewicht in Kilogr.	Secundärer Strom. / Gewicht.
23,0	30,2	10,3	2,92
32,4	39,4	12,6	3,11
44,4	44,0	14,2	3,10
51,6	49,5	16,5	3,00
69,0	53,7	17,0	3,16
133,8	61,1	20,8	2,94
195,0	63,6	23,5	2,71
248,0	66,3	27,3	2,43
296,0	68,2	28,5	2,39
343,0	69,5	31,5	2,21
297,0	68,7	28,5	2,41
241,0	66,6	26,5	2,51
190,0	65,7	26,2	2,51
131,0	58,5	24,8	2,36
68,2	55,0	17,0	3,24
52,2	51,2	17,2	2,98
41,6	47,0	15,0	3,13
30,8	40,5	12,5	3,24
19,6	27,9	9,7	2,89

b) Eisenrohr II.

Wandstärke = 4,5 mm; Lichtweite 11 mm.

Primärer Strom.	Secundärer Strom.	Abreiss-Gewicht in Kilogr.	Secundärer Strom. / Gewicht.
17,0	44,7	11,6	3,85
31,0	78,1	20,1	3,89
41,0	86,5	25,0	3,46
68,0	101,1	61,0	1,66
69,0	100,8	59,8	1,68
40,0	87,3	28,3	3,08
22,0	65,0	17,5	3,71

c) Eisenrohr III.

Wandstärke = 4,5 mm; Lichtweite 17,5 mm.

Primärer Strom.	Secundärer Strom.	Abreiss-Gewicht in Kilogr.	Secundärer Strom. / Gewicht.
24,0	38,9	10,5	3,70
36,6	63,3	24,3	2,60
47,0	75,0	34,2	2,19
68,0	89,1	41,2	2,16
140,0	104,0	53,3	1,95
140,0	103,6	51,5	2,01
71,0	91,2	38,3	2,38
50,4	81,3	32,0	2,54
37,2	69,5	27,3	2,54

wird man ohne grossen Fehler für diesen ringförmigen Rohrmagnet die oben entwickelte Formel für die Magnetisirung und die Tragkraft anwenden können, wenn der Radius des Ringes nicht zu klein ist.

Tabelle 3.

Anzahl der Elemente.	Primärer Strom.	Secundärer Strom.	Abreiss-Gewicht in Kilogr.	Secundärer Strom. / Gewicht.
1	20,5	50,4	31,5	1,6
2	46	58,4	42,3	1,4
3	52	63,8	46,8	1,6
4	68	69,6	47,5	1,5
5	82	71,5	49,2	1,5
6	93	72,7	51,4	1,4
8	116	73,9	57,8	1,3
10	139	76,0	58,5	1,3
20	183	77,4	65,2	1,2
4	65	69,0	49,3	1,4
3	51	66,0	45,3	1,5
2	34	61,3	37,8	1,6
1	18	52,6	29,4	1,8
1 geschl.	12	46,0	24,9	1,7
-	8,3	38,3	18,0	2

Die Tabelle 3 giebt die mit einem solchen ringförmigen Röhrenmagnete angestellten Abreissversuche.

Die beiden gleichen ringförmigen Eisenschalen, welche, aufeinandergelegt, den Röhrenmagnet bilden, waren gut aufeinandergeschliffen. An jeder Schale war ein messingener Bügel befestigt, mittelst deren die Magnetschalen auseinandergerissen werden konnten. Die Spirale

bestand aus 360 Windungen übersponnenen Kupferdrahtes von 0,5 mm Dicke und 8,7 Einheiten Widerstand. Der innere Durchmesser derselben betrug 62 mm, der äussere 81 mm, ihr Querschnitt war mithin ein Kreis von 86 mm Durchmesser. Die Wandstärke der Eisenschalen betrug 2 mm. Zur Messung des im Röhrenmagnet entwickelten Magnetismus waren 50 Windungen feinen isolirten Drahtes mit der Drahtspirale zusammen aufgewickelt, so dass diese aus der beschriebenen Hauptspirale und einer Nebenspirale bestand, die von einander isolirt waren. Haupt- und Nebenspirale waren mit der oberen Eisenschale fest verbunden, so dass die untere Eisenschale den abzureissenden Anker bildete. Die Bewegung nach dem Abreissen war durch eine durch den Ring hindurchgehende, am Bügel der unteren Ringschale befestigte Stange mit Anschlag auf einige Millimeter begrenzt.

Es wurde nun ein stark gedämpftes Spiegelgalvanometer durch einen passend eingerichteten Commutator in der Weise mit den beiden Spiralen verbunden, dass man bei der einen Commutator-Stellung mit Hülfe einer Nebenschliessung der Hauptspirale die Stromstärke der letzteren, bei der anderen den beim Abreissen in der Inductionsspirale inducirten Strom messen konnte. Das Abreissen geschah in der Weise, dass der untere Theil der an dem Ankerbügel befestigten Stange ebenfalls mit einem Ansatze versehen war, welcher gestattete, scheibenförmige Bleigewichte mit Einschnitten, die bis zur Mitte der Scheiben reichten, auf die Stange zu schieben, die dann durch den Ansatz festgehalten wurden. War durch Ansetzen der nöthigen Anzahl solcher Gewichte die Tragkraft des Magnetes annähernd äquilibrirt, so wurde eine ebenfalls an der Tragstange des Ankers befestigte Federwage langsam angezogen und das von ihr im Augenblicke des Abreissens angezeigte Gewicht notirt, während ein anderer Beobachter den Ausschlag des Spiegelgalvanometers beobachtete, welcher den beim Abreissen in der Inductionsspirale erzeugten Strom angab. Dieser Ausschlag ist ein Mass des beim Abreissen des Ankers im Magnete verschwundenen Magnetismus, also auch ein Mass der Verstärkung des Magnetismus durch den Ankerschluss. Um den ganzen vor dem Abreissen im Magnete vorhandenen wirksamen Magnetismus zu erhalten, muss man den Ausschlag hinzuzählen, der bei Unterbrechung des magnetisirenden Stromes eintritt, nachdem von demselben der durch die Induction der Hauptspirale selbst auf die Inductionsspirale bedingte Ausschlag abgezogen ist. Diesen Zahlen sind die Abreissgewichte annähernd proportional. Die Abweichungen erklären sich genügend dadurch, dass auch bei geöffneter Kette noch Magnetismus im Eisen des Magnetes zurückbleibt, sowie durch die trotz sorgfältiger Aufschleifung doch immer noch unvollkommene Berührung aller Eisenmolecüle beider Seiten der Schnittfläche an einander. Die Berührung muss um so vollständiger werden, je stärker der Druck der Flächen auf einander ist.

Wie sich aus der Tabelle 3 ergiebt, ist die beobachtete Maximal-Tragkraft 65,2 Kilogramm. Das aus dem Ansteigen der Tragkraft zu berechnende Maximum der Tragkraft würde etwa 75 Kilogramm sein. Das Gewicht der zum Ringe gebogenen Eisenröhre betrug 192,54 Gramm, das Gewicht der Drahtspirale 130 Gramm. Ein Gramm Eisengewicht (Magnet und Anker zusammengerechnet) trug daher 323 Gramm, und bei obiger Annahme für das Maximum des Magnetismus war die Tragkraft das 390 fache des Gesammt-Gewichtes des Eisens.

Mit dem beschriebenen Apparate wurde darauf die Veränderung vorgenommen, dass er mit 12 äusseren Drahtrollen versehen wurde, die getheilt auf den in sich geschlossenen Ring aufgesetzt waren und dann mit isolirtem Draht bewickelt wurden. Die innere Weite der Rolle war etwa 5 mm grösser als die Ringdicke, so dass ein Abreissen der Ringhälften von einander ausgeführt werden konnte, ohne durch die Drahtrollen gehindert zu werden. Die Rollen wurden darauf mit einem gleichen isolirten Drahte bewickelt, wie der war, welcher zur inneren Hauptspirale verwendet wurde. Zwei gegenüberstehende dieser Rollen wurden als Inductionsspirale geschaltet, die übrigen bildeten eine Hauptspirale zur Erzeugung einer Magnetisirung des Ringes, deren Richtung überall senkrecht auf der Richtung des durch die innere Hauptspirale erzeugten Rohrmagnetismuss stehen musste. Die Grösse des erzeugten Ringmagnetismus konnte durch den Ausschlag gemessen werden, der bei Schliessung der äusseren Hauptspirale in der Inductionsspirale hervorgebracht wurde. Dieser Ausschlag giebt zwar nur die Grösse desjenigen Magnetismus an, der in dem Theile des Ringes entsteht, welcher von der Inductionsspirale umschlossen ist, also durch Ringtheile, welche keiner oder doch nur einer geringen directen Magnetisirung durch die Hauptspirale unterliegen, er kann aber doch als Mass des gesammten, im Ringe erzeugten Magnetismus ohne beträchtlichen Fehler gelten, weil einmal, wie schon hervorgehoben ist, die directe Drehung der Elementarmagnete durch die magnetisirende äussere Kraft nur klein ist im Vergleich mit der gegenseitigen Verstärkung der Molecularmagnete, und weil die Schwächung der Fortpflanzung der Magnetisirung durch geringe Längen weichen Eisens von hinlänglichem Querschnitt nicht bedeutend ist.

Es wurde nun in die äussere (transversale) Hauptspirale eine Batterie eingeschaltet. Durch geeignete Commutation wurde an demselben Spiegelgalvanometer erst der durch die Inductionsspirale bewirkte Ausschlag und darauf die herrschende Stromstärke in der Hauptspirale gemessen und dies mehrere Male wiederholt, wobei die Stromrichtung der Hauptspirale jedesmal umgekehrt wurde. Der durch die Inductionsspirale bewirkte Ausschlag bildete dann das Mass des durch die Stromstärke I im Ringe erzeugten Magnetismus.

Liess man nun in einem der beiden magnetischen Kreise den

Strom der Hauptspirale fortdauern und schloss dann die Hauptspirale des anderen Kreises, so erhielt man in der Inductionsspirale des letzteren einen Ausschlag, der eine Verminderung des in diesem Kreise erzeugten Magnetismus anzeigte. Es wurde dadurch das mit geraden Röhrenmagneten erhaltene Resultat bestätigt, dass die Magnetisirung des Eisens durch eine äussere magnetisirende Kraft kleiner wird, wenn eine gleichzeitige Magnetisirung in einem auf ihr senkrecht stehenden Sinne vorhanden ist oder hervorgerufen wird.

Während der ersten Abtheilung der Versuche betrug die Stärke des äusseren Stromes ungefähr 800, während der zweiten Abtheilung ungefähr 200; diejenigen Versuche, in denen diese Stromstärke von den genannten Zahlen abwich, wurden auf die Zahlen 800 bez. 200 reducirt unter der Annahme, dass die Einwirkung des äusseren Stromes proportional dessen Stärke sei, was bei den geringen Abweichungen zulässig erschien.

Tabelle 4.

1. Untere Ringhälfte angesetzt.	2. Innerer Strom geschlossen.	3. Stärke des inneren Stromes.	4. Aeusserer Strom geschlossen.	5. Stärke des äusseren Stromes.	6. Aeusserer Strom geöffnet.	7. Innerer Strom geöffnet.	8. Untere Ringhälfte abgenommen.	9. Summe der Inductionsausschläge.	10. Magnetismus bei innerem Strom.	11. Magnetismus bei innerem und äusserem Strom.	12. Remanenter Magnetismus.
+ 7	+ 28	+ 11	— 30	+ 800	+ 28	— 18	— 20	— 5	+ 35	+ 5	+ 15
+ 9	+ 93	+ 26	— 93	—	+ 87	— 57	— 54	— 15	+ 102	+ 9	+ 39
+ 11	+ 149	+ 46	— 143	—	+ 132	— 92	— 72	— 15	+ 160	+ 17	+ 57
+ 13	+ 176	+ 63	— 158	—	+ 147	— 113	— 79	— 14	+ 189	+ 31	+ 65
+ 12	+ 185	+ 71	— 160	—	+ 149	— 120	— 81	— 15	+ 197	+ 37	+ 66
+ 12	+ 202	+ 92	— 163	—	+ 152	— 133	— 83	— 13	+ 214	+ 51	+ 70
+ 12	+ 199	+ 92	— 145	—	+ 159	— 131	— 82	+ 12	+ 211	+ 66	+ 94
+ 12	+ 208	+ 113	— 145	—	+ 157	— 148	— 78	+ 6	+ 220	+ 75	+ 84
+ 12	+ 251	+ 221	— 131	—	+ 140	— 181	— 86	+ 5	+ 263	+ 132	+ 91
+ 12	+ 290	+ 424	— 92	—	+ 96	— 220	— 84	+ 2	+ 302	+ 210	+ 86
+ 12	+ 327	+ 766	— 54	—	+ 57	— 256	— 83	+ 3	+ 339	+ 285	+ 86
+ 10	+ 51	+ 10	— 37	+ 200	+ 37	— 31	— 38	— 8	+ 61	+ 24	+ 30
+ 10	+ 115	+ 21	— 76	—	+ 81	— 72	— 61	— 3	+ 126	+ 49	+ 58
+ 11	+ 153	+ 33	— 91	—	+ 95	— 96	— 72	0	+ 164	+ 73	+ 72
+ 12	+ 170	+ 44	— 90	—	+ 94	— 110	— 74	+ 2	+ 182	+ 92	+ 76
+ 11	+ 185	+ 58	— 83	—	+ 88	— 121	— 76	+ 4	+ 196	+ 113	+ 80
+ 12	+ 221	+ 115	— 55	—	+ 57	— 156	— 77	+ 2	+ 233	+ 178	+ 79
+ 12	+ 254	+ 219	— 31	—	+ 31	— 186	— 77	+ 3	+ 266	+ 235	+ 80
+ 11	+ 287	+ 395	— 17	—	+ 17	— 218	— 77	+ 3	+ 298	+ 281	+ 80
+ 12	+ 313	+ 561	— 11	—	+ 11	— 242	— 71	+ 12	+ 325	+ 314	+ 83

Es wurde ferner das Ansteigen des von der äusseren primären Spirale allein erzeugten Magnetismus beobachtet, indem die in der äusseren secundären Spirale auftretenden Ausschläge gemessen wurden. Das An- oder Absetzen der unteren Hälfte des Eisenringes ergab in

diesem Falle keine Induction; die Inductionsausschläge sind die nach mehrmaligem Schliessen und Oeffnen des Stromes von Einer Richtung erhaltenen; die beim ersten Schliessen erhaltenen waren, namentlich bei schwachem Strom, etwas grösser, jedoch höchstens um $5^0/_0$ (s. Tab. 5).

Tabelle 5.

Primärer Strom.	Secundärer Strom.
3	3
56	56
114	92
221	124
410	144

War in der inneren Spirale Strom, und wurde der Strom in der äusseren Spirale gewechselt (+ geschlossen, geöffnet, — geschlossen, geöffnet u. s. w.), und wurde ferner in der inneren secundären Spirale beobachtet, so war der erste Ausschlag um ca. $2^0/_0$ grösser als die folgenden.

Hiernach scheint die dem äusseren Strom allein entsprechende Remanenz erheblich geringer zu sein, als die dem inneren Strom entsprechende.

In der Fig. 38 bedeuten a_1 a die Curven des dem inneren Strom allein entsprechenden Magnetismus (Tab. 4, Sp. 2), b_1 u. b_2 die Curven bei gleichzeitiger Einwirkung des äusseren Stromes und zwar b_1 für die Stromstärke 200, b_2 für die Stromstärke 800.

Die specielle Anordnung der Versuche war folgende.

Zunächst wurde das Ansteigen des Magnetismus in der zur Mittellinie des Ringes senkrechten Richtung beobachtet, bei Einwirkung sowohl des inneren Stromes (Windungen in der Richtung der Mittellinie), als des äusseren Stromes (Windungen senkrecht zur Mittellinie); als Mass dieses Magnetismus wurde der in einer inneren, secundären Spirale (Windungen in der Richtung der Mittellinie) inducirte Strom angenommen; die in der folgenden Tabelle enthaltenen Ausschläge sind mit Ausnahme der Spalten 3 und 5 sämmtlich in der inneren, secundären Spirale beobachtet. Es wurde gemessen (in dieser Reihenfolge) s. Tab. 4:

1. Der Ausschlag beim Ansetzen der unteren Hälfte des Eisenringes an die obere; 2. der Ausschlag bei Schliessung des inneren Stromes; 3. die Stärke des inneren Stromes; 4. der Ausschlag bei Schliessung des äusseren Stromes; 5. die Stärke des äusseren Stromes; 6. der Ausschlag bei Oeffnung des äusseren Stromes; 7. der Ausschlag bei Oeffnung des inneren Stromes; 8. der Ausschlag bei Abnahme der unteren Hälfte des Eisenringes.

Nimmt man an, dass nach Oeffnung der Ströme und Abnahme der unteren Ringhälfte davon kein oder ein ganz constanter remanenter Magnetismus vorhanden sei, so muss die Summe aller Inductionsausschläge Null sein; dies ist auch mit genügender Annäherung der Fall, wie Spalte 9 zeigt; Spalte 10 [(1) + (2)] zeigt den durch den inneren Strom, Spalte 11 [(1) + (2) + (4)] den durch den inneren und den äusseren Strom erzeugten Magnetismus; Spalte 12 [(1) + (2) + (7) + (8)] den dem inneren Strom entsprechenden remanenten Magnetismus.

Aus dem nachgewiesenen schwächenden Einflusse, den zurückgebliebener oder gleichzeitig erzeugter transversal gerichteter Magnetismus auf die Grösse der Magnetisirung ausübt, erklären sich viele störende Erscheinungen bei wissenschaftlichen elektromagnetischen Untersuchungen, sowie bei der technischen Anwendung des Magnetismus.

Die zu den beschriebenen Versuchen benutzten geraden oder ringförmigen Röhren-Elektromagnete zeichnen sich dadurch vor den bisher benutzten Elektromagnet-Constructionen aus, dass sie bei gegebenem Eisen- und Kupfergewichte einen weit grösseren magnetischen Effect geben, wie die letzteren. Sie werden daher namentlich in der Elektrotechnik häufig eine nützliche Verwendung finden. Die Eigenschaft des ringförmigen Röhrenmagnetes, den Leitungsdraht vollständig mit einem Eisenmantel zu umgeben, macht ihn aber auch zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragen, für deren Lösung es bisher an geeigneten Hülfsmitteln fehlte, besonders geeignet. Es ist eine solche z. B. die Frage der Schirmwirkung des Eisens. Es erschien zwar wahrscheinlich und wurde bisher auch wohl ziemlich allgemein angenommen, dass die magnetische Fernwirkung durch einen zwischenliegenden Eisenschirm nicht direct beeinflusst würde und dass die beobachtete Aenderung der magnetischen Fernwirkung durch die Wirkung des im zwischenliegenden Eisenschirme hervorgerufenen Magnetismus zu erklären sei. Entscheidende Versuche sind darüber aber meines Wissens noch nicht angestellt, und es war dies mit den bisher bekannten Hülfsmitteln auch kaum ausführbar.

Um die Frage mit Hülfe des ringförmigen Röhrenmagnetes zu entscheiden, liess ich zwei möglichst gleiche solcher Magnete anfertigen und stellte sie auf beiden Seiten des Glockenmagnetes eines aperiodisch schwingenden Spiegelmagnetometers in der Weise auf, dass ich die Drahtspiralen mittelst gespannter Drähte an senkrecht stehenden Rahmen befestigte, welche dem Magnete beliebig zu nähern waren. Es wurde nun derselbe Strom durch die beiden Drahtspiralen hintereinander geleitet und das eine Brett so lange verschoben, bis keine Ablenkung des Magnetometers beim Eintritt und bei der Unterbrechung des Stromes mehr stattfand. Es wurde dann abwechselnd die eine oder die andere Drahtspirale mit ihren beiden Rohrhälften bedeckt, so dass dieselbe

jetzt einen geschlossenen Röhrenmagnet bildete, und die entstehenden Ablenkungen des Magnetometers bei Stromschluss in Scalentheilen abgelesen. Die Versuche ergaben, dass in der That eine unzweifelhafte, wenn auch nur geringe, dauernde Verminderung des magnetischen Momentes einer Drahtspirale eintritt, wenn sie ganz von einem Eisenrohr umschlossen ist. Durch Annäherung der geschwächten Spirale lässt sich die Grösse dieser Schirmwirkung bestimmen. Sie ist scheinbar proportional der Dicke der Rohrwand, doch bedarf dies noch weiterer Bestätigung. Ich will hier nur noch bemerken, dass eine magnetische Fernwirkung des Eisens, wenn eine solche bei einem als Röhrenmagnet magnetisirten röhrenförmigen Ringmagnete als vorhanden angenommen werden könnte, eine Verstärkung und keine Schwächung der Fernwirkung der Spirale hervorbringen müsste. Ich hoffe, zu einer näheren Untersuchung dieser Frage später Gelegenheit zu finden und enthalte mich einstweilen einer Erklärung dieser auffallenden Erscheinung.

Diese thatsächlich stattfindende, wenn auch nur geringe Schirmwirkung des Eisens legte mir die Frage nahe, ob sich mit Hülfe des Röhrenmagnetes nicht entscheiden liesse, ob die magnetische Fernwirkung eine direct und geradlinig wirkende, unmittelbare ist, wie es seit Newton von der Schwerkraft angenommen wird, oder ob sie eine von Molecül zu Molecül der zwischenliegenden Batterie oder des hypothetischen Aethers fortschreitende Wirkung ist, wie es für die elektrische Vertheilung von Faraday zuerst angenommen und von mir auf experimentellem Wege als zulässig nachgewiesen wurde [1]). In der That schien eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden zu sein, dass die von einer Drahtspirale ausgehende magnetische Kraft nicht gleichzeitig in der geschlossenen Röhrenwand, die sie durchdringen muss, eine beträchtliche Arbeit, die Magnetisirung des geschlossenen Röhrenmagnetes, ausführen und während dieser Zeit zugleich eine ungeschwächte Fernwirkung ausüben könne. Es erschien wahrscheinlicher, dass die Fernwirkung hinter der Rohrwand erst beginnen würde, wenn die beim Durchgang durch das Eisen in der Drehung der Elementarmagnete zu leistende Arbeit gethan war. Die Versuche haben diese Vermuthung nicht bestätigt. Es wurde zu denselben mit geringer Abänderung dieselbe Zusammenstellung zweier getheilter ringförmiger Röhrenmagnete mit einem zwischen ihnen aufgestellten Spiegelmagnetometer benutzt, wie sie bei dem oben beschriebenen Versuche benutzt wurden. Zunächst wurden die parallelen und gleich grossen, auf beiden Seiten des Magnetometers aufgestellten Drahtspiralen so eingestellt, dass ein Strom, der sie beide hintereinander durchlief, keine Einwirkung auf das Magnetometer zeigte. Darauf wurde eine der beiden Spiralen,

[1]) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 66.

ohne ihre Lage zu verändern, mit den zugehörigen Eisenschalen bedeckt und der Versuch wiederholt. Es zeigte sich auch jetzt keine sichere Ablenkung des Magnetometers, wie es der Fall sein müsste, wenn der Strom der einen Spirale länger oder stärker auf das Magnetometer gewirkt hätte, wie der der anderen. Da die Zeitdifferenz möglicherweise sehr kurz war und dadurch ihre Wirkung unmerklich kurz wurde bei der kräftigen Gesammtwirkung jeder Spirale, so modificirte ich den Versuch auf Vorschlag des Dr. Frölich, dem ich für die Leitung dieser und der früher beschriebenen Versuche zu danken habe, in der Weise, dass anstatt des Magnetometers eine dritte, unbedeckte Spirale aufgestellt und die äusseren, ebenfalls unbedeckten Spiralen wieder so eingestellt wurden, dass kein Strom in der mittleren Spirale durch sie inducirt wurde. Zur Messung desselben wurde die Ladung eines Glimmercondensators benutzt, mit dessen beiden Belegungen die Drahtenden der mittleren Spirale in Verbindung gesetzt waren. Mein mehrfach beschriebener Fallhammer zur Hervorbringung von Strömen sehr kurzer Zeitdauer wurde nun so eingeschaltet, dass ein kräftiger Strom durch die beiden Spiralen dauernd circulirte. Der eine der beiden verstellbaren Stifte des Fallhammers unterbrach nun diesen Strom, während der zweite nach einer sehr kurzen Zeit den Kreis der mittleren Drahtspirale und des Condensators unterbrach. Da die mittlere Spirale aus einer sehr grossen Anzahl Windungen feinen Drahtes bestand, so musste schon eine sehr geringe Differenz der magnetischen Momente der beiden äusseren Spiralen eine messbare Ladung des Condensators hervorbringen. Da durch die Unterbrechung des einen Verbindungsdrahtes zwischen mittlerer Spule und Condensator dieser isolirt wurde und derselbe in diesem Zustande eine Ladung mehrere Minuten ohne merkliche Schwächung derselben behielt, wie durch Versuche constatirt wurde, so musste die spätere Entladung des Condensators durch ein empfindliches Spiegelgalvanometer ein Mass der im Augenblicke der Unterbrechung des Condensatordrahtes an den Enden des Umwindungsdrahtes der mittleren Spirale herrschenden Potential-Differenz bilden. Es wird freilich bei dieser Anordnung des Versuches nicht eigentlich die Verzögerung des Eintrittes der Fernwirkung der im Eisen eingeschlossenen Drahtspirale gemessen, sondern gleichsam das Complement derselben, nämlich die vermuthete Verstärkung der magnetischen Fernwirkung dieser Spirale bei Aufhören der Magnetisirung des Eisens des Röhrenmagnetes nach Unterbrechung des Stromes. Es ist aber wohl anzunehmen, dass diese Wirkung eintreten müsste, wenn die vermuthete Verzögerung der Fernwirkung durch die Magnetisirung vorhanden wäre, weil anderenfalls Energie verloren ginge. Auch diese Versuche geben ein negatives Resultat. Wenigstens waren die erhaltenen Differenzen so klein und schwankend, dass sie nicht als entscheidend zu betrachten waren.

Die zuletzt beschriebenen Versuche haben gelegentlich auf eine recht schlagende und einfache Weise die Helmholtz'sche Theorie der Entladung des Condensators durch eine Reihe wechselnder Entladungen und erneuter Ladungen bestätigt. Lässt man nur eine unbedeckte Spirale auf die Inductionsspirale einwirken und vergrössert zwischen je zwei Versuchen die Dauer der Verbindung des Condensators mit der inducirten Spirale, so gehen die anfänglich positiven Entladungsausschläge des Condensators bald in negative über. Bei weiterer Verlängerung der Zeit der Verbindung werden sie wieder positiv, und so fort. Dabei nehmen die Ausschläge allmählich ab.

Ueber das Leuchten der Flamme.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 9. Nov.)

1882.

Das Licht, welches von verbrennenden Gasen ausgeht, die mit heller Flamme leuchten, ist bekanntlich eine secundäre Erscheinung. Es sind die durch die hohe Temperatur der Verbrennung ausgeschiedenen und zum Glühen gebrachten festen oder auch flüssigen, in der Flamme suspendirten Bestandtheile, von denen die hellen Lichtstrahlen ausgehen. Gase, welche keine festen oder flüssigen Bestandtheile beim Glühen ausscheiden oder durch den Verbrennungsvorgang erzeugen, verbrennen durchgehends mit einer relativ schwach leuchtenden Flamme von bläulicher, aber je nach der verbrennenden Gasart verschiedener Farbe. Man pflegt die Ursache dieses Leuchtens einfach damit zu erklären, dass das durch die Verbrennung hoch erhitzte Gas selbst glühe. Versuche darüber, ob hoch erhitzte reine Gase wirklich Licht ausstrahlen, sind meines Wissens bisher nicht mitgetheilt. Betrachtungen über die Lichtemission der Sonne, die sich an die Sonnentheorie meines Bruders C. Wilhelm Siemens anknüpfen, und über welche ich der Akademie binnen Kurzem eine Mittheilung zu machen gedenke, und gelegentliche Beobachtungen liessen es mir unwahrscheinlich erscheinen, dass erhitzte Gase selbst leuchten, und ich beschloss, darüber einige Versuche anzustellen. Sollten die Versuche einen entscheidenden Charakter erhalten, so mussten sie bei Temperaturen angestellt werden, welche höher waren, als diejenige, welche durch die leuchtende Verbrennung erzeugt wird. Ich überzeugte mich bald, dass aus diesem, sowie aus anderen Gründen im Laboratorio anzustellende Versuche kaum ein befriedigendes Ergebniss erwarten liessen. Dagegen schienen mir die grossen, mit Schwelgas geheizten Regenerativ-Oefen der Glasfabrik meines Bruders Friedrich Siemens in Dresden vorzüglich zur Anstellung solcher Versuche geeignet. Mein Bruder ging bereitwillig auf meinen Wunsch, mit einem solchen Ofen einen Versuch anzustellen, ein und fand meine Erwartung in vollem Masse bestätigt.

Es wurde ein zur Hartglasfabrication nach der Methode meines Bruders dienender Regenerativ-Ofen verwendet, der in einem abgesonderten Raume stand, welcher in der Nacht vollkommen dunkel zu machen war. Der Ofen hatte eine rechteckige Herdsohle von ca. $2^1/_2$ m Länge und $1^1/_2$ m Breite und eine grösste Höhe des Ofenraumes von ca. 160 cm. In der Mitte jeder der langen Seiten des Ofens befanden sich gegenüberstehende Oeffnungen, welche einen freien Durchblick durch den Ofenraum gestatteten. Der Ofen konnte mit Leichtigkeit so hoch erhitzt werden, als die aus besonders feuerfesten Steinen gebildeten Ofenwände gestatteten. Es ist dies die Stahlschmelzhitze, welche zwischen 1500 und 2000° C. beträgt. War diese Temperatur erreicht und wurde darauf der weitere Zutritt von Gas und Luft zum Ofen abgestellt, so erhielten die heissen Wände des Ofens die Temperatur des Innern längere Zeit auf einer ziemlich gleichen Höhe, wenn jeder Luftwechsel verhindert wurde. Vor die Ofenöffnungen wurde nun eine Reihe von gut berussten Schirmen aufgestellt, mit einer centralen Oeffnung, welche einen Durchblick durch den heissen Ofen gestattete, ohne dass von den Ofenwänden ausgehende Strahlen das Auge treffen konnten. Nachdem nun der Ofen überall vollständig abgedichtet und alles Licht aus dem Raume entfernt war, so dass vollständige Finsterniss in demselben herrschte, ergab sich, dass von der hoch erhitzten Luft im Ofen nicht der geringste dem Auge bemerkliche Lichtschein ausging. Wurde eine leuchtende Flamme in den Raum gebracht, so genügten schon die durch dieselbe erzeugten Reflexe, das Gesichtsfeld schwach zu erleuchten. Zum Gelingen des Versuches war es nothwendig, im Ofen jede Verbrennung zu beseitigen und so lange zu warten, bis die Ofenluft möglichst staubfrei war. Jede Flamme im Ofen, auch wenn sie scheinbar nicht bis in die Gesichtslinie reichte, und die geringste Staubmenge in demselben erhellten das Gesichtsfeld.

Als Resultat dieser Versuche meines Bruders musste angenommen werden, dass die bisherige Anschauung, dass hoch erhitzte Gase selbst leuchten, nicht richtig ist. In dem Ofen befanden sich die Producte der früheren Verbrennung, gemischt mit atmosphärischer Luft, also Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf. Wenn auch nur eines dieser Gase selbstleuchtend wäre, so müsste das Gesichtsfeld stets erhellt gewesen sein. Sind die Gase aber nicht selbstleuchtend bei der Verbrennungstemperatur, so kann das schwache Licht, welches die Flamme verbrennender Gase zeigt, die keine festen oder flüssigen Bestandtheile ausscheiden, nicht als Glüherscheinung der erhitzten Verbrennungsproducte erklärt werden. Es erschien mir dann auch wahrscheinlich, dass erhitzte Gase ebenso wenig Wärme wie Lichtstrahlen aussenden würden. Um auch hierüber einen Versuch anzustellen und um mich durch eigene Beobachtung von der Richtigkeit der von meinem Bruder constatirten Thatsache zu überzeugen, begab ich mich mit

Dr. Frölich nach Dresden. Hinsichtlich des Leuchtens der heissen Ofengase erhielten wir im Allgemeinen dieselben Resultate, die mein Bruder und dessen Ingenieur Hr. Herrmann, welcher sich den Versuchen mit grossem Eifer und Verständniss gewidmet hatte, erhalten hatten. Allerdings blieb das Gesichtsfeld nicht immer ganz dunkel, und es gelang oft nur für kurze Zeit, dies zu beobachten. Bei der grossen Empfindlichkeit des durch die herrschende Dunkelheit geschärften Auges und bei der Unmöglichkeit, jede mit Staubbewegung verbundene Luftbewegung im Ofen zu verhindern, sowie jeden weiteren Gaszutritt abzusperren — ist dies auch leicht erklärlich. Wir haben aber wiederholt völlige Dunkelheit des Gesichtsfeldes constatirt. Leider misslangen die Versuche, durch empfindliche Thermosäulen die Frage der Emission von Wärmestrahlen durch hoch erhitzte Gase zur Entscheidung zu bringen. Die geringe Grösse der Oeffnungen, sowie die erhebliche Entfernung vom Ofen, in welcher die Thermosäule aufgestellt werden musste, verringerten die Empfindlichkeit der Messung derart, dass zwischen der leuchtenden Flamme und der erhitzten Luft kein Unterschied nachgewiesen werden konnte.

Ich überzeugte mich aber später durch einen anderweitigen, ganz einfachen Versuch, dass meine Vermuthung eine irrige war. Es wurde eine gewöhnliche Gaslampe mit ringförmigem Brenner und kurzem Glascylinder durch ein vor derselben aufgestelltes dickes Brett derartig abgeblendet, dass das Brett die ganze Lampe nebst Glascylinder verdeckte. Eine empfindliche Thermosäule wurde nun derart aufgestellt, dass die Axe des Rohres, in welchem die Thermosäule angebracht war, etwas höher lag als die obere Kante des Brettes. Das Rohr war mit einer Blende versehen und um eine verticale Axe drehbar. Da die Zimmerwände ziemlich gleiche Temperatur hatten, so war die Ablenkung des eingeschalteten empfindlichen Spiegelgalvanometers nur unbedeutend, wenn die Rohraxe so eingestellt war, dass der von der Flamme emporsteigende heisse Luftstrom nicht in dem durch die Blende beschränkten Gesichtsfelde der Thermosäule lag. Wurde aber die letztere so gedreht, dass die Visirlinie in den heissen Luftstrom fiel, so trat sofort eine Ablenkung ein, die erst wieder zurückging, wenn durch weitere Drehung der Thermosäule oder durch Zurückdrehung derselben der heisse Luftstrom wieder aus dem Gesichtsfelde entfernt wurde. Dasselbe Resultat wurde erzielt, wenn die Lampe selbst hinter dem sie selbst verdeckenden Brette verschoben, und abwechselnd in das Gesichtsfeld gebracht oder aus demselben entfernt wurde. Dass die von heissen Gasen ausgehende Wärmestrahlung im Vergleich mit der von gleich heissen festen Körpern ausgehenden nur sehr klein ist, zeigt die grosse Ablenkung der Scala des Galvanometers, welche eintritt, wenn ein Stück feinen Drahtes oder ein anderer fester Körper in den heissen Luftstrom gehalten wird. Andererseits ist sie aber doch

viel zu bedeutend, um annehmen zu können, dass nur im Luftstrome suspendirte Staubtheile die Wärmestrahlung veranlassten.

Es liegt nahe, zu fragen, ob nicht die Lichtausstrahlung heisser Gase in ähnlicher Weise wie die Wärmestrahlung, nur ausserordentlich schwach und dadurch leicht zu übersehen wäre, wenn die Temperatur nicht sehr hoch ist. Diese Möglichkeit muss allerdings zugegeben werden, und es ist sehr wünschenswerth, dass die Versuche bei noch weit höheren Temperaturen und mit schärferen Hülfsmitteln wiederholt werden, um die Temperaturgrenze festzustellen, bei welcher erhitzte Gase unzweifelhaft selbstglühend werden. Die Thatsache, dass Gase bei einer Temperatur von mehr als 1500^0 C. noch nicht leuchten, beweist jedoch, dass das Glühen der Flamme nicht als Selbstglühen der Verbrennungsproducte zu erklären ist. Dafür spricht auch schon die Betrachtung der Flamme selbst. Wenn man für schnellere Mischung der zur Verbrennung gelangenden Gase sorgt, so wird die Flamme kürzer, weil der Verbrennungsprocess schneller verläuft, und gleichzeitig heisser, weil weniger kalte Luft mit den verbrennenden Gasen gemischt wird. In gleicher Weise wird die Flamme verkürzt und heisser, wenn die Gase vor der Verbrennung stark vorgewärmt werden. Da die aufsteigenden Verbrennungsproducte noch einige Zeit die Temperatur der Flamme nahe beibehalten, so müsste ein umgekehrtes Verhalten stattfinden, wenn die Gase selbstleuchtend wären. Das Leuchten der Flamme hört aber in einer scharfen Begrenzungslinie über derselben auf und fällt offenbar mit der Vollendung der chemischen Action zusammen. Es muss mithin diese selbst und nicht die durch sie erzeugte Erhitzung der Verbrennungsproducte die Ursache des Leuchtens sein. Nimmt man an, dass die Gasmolecüle mit einer Aetherhülle umgeben sind, so muss bei der chemischen Verbindung zweier oder mehrerer solcher Molecüle auch eine veränderte Lagerung der Aetherhüllen derselben eintreten. Die hierdurch bedingte Bewegung der Aethertheilchen muss sich durch Schwingungen ausgleichen, welche die Ausgangspunkte der Licht- und Wärmewellenzüge bilden können. In ganz ähnlicher Weise kann man sich die Lichterscheinung vorstellen, welche stets auftritt, wenn ein elektrischer Strom durch Gase fortgeleitet wird. Wie ich schon vor längerer Zeit bei der Beschreibung des Ozon-Apparates auseinandergesetzt habe[1]), werden alle Gase Leiter der Elektricität, wenn das ihnen zustehende, von mir so bezeichnete Polarisationsmaximum überschritten wird. Es besagt dies, dass das Dielectricum nur eine von seiner Natur, d. i. bei Gasen von ihrer Dichtigkeit, abhängige Menge Elektricität zu übertragen vermag und dass bei grösserer Steigerung der Potentialdifferenz

[1]) Ueber die elektrostatische Induction und die Verzögerung des Stromes in Flaschendrähten. Pogg. Ann. Bd. 102, S. 66.

der Vorgang der Fortleitung der Elektricität durch das Dielectricum eintritt. Verhindert man beim Luftcondensator die Funkenbildung wie beim Ozon-Apparat durch eine zwischen die Collectorplatten eingeschobene Glas- oder Glimmerplatte, so tritt in der Luftschicht bei Ueberschreitung einer bestimmten, vom Abstande der Platten und der Dichtigkeit des Gases abhängigen Spannungsdifferenz eine Glüherscheinung in der ganzen Gasmenge ein, welche sich bei der Entladung des Condensators wiederholt. Es ist dann für diese Potentialdifferenz das Gas ein Leiter der Elektricität geworden, und das Dielectricum des Condensators besteht jetzt nur noch aus der Glas- oder Glimmerplatte, welche ein weit höheres Polarisationsmaximum hat, also erst viel später leitend wird, wie das Gas. Da der durch das Gas geleitete Strom stets mit chemischer Action verbunden zu sein scheint, so könnte man sich die Glüherscheinung in ähnlicher Weise wie bei der Flamme durch oscillirende Umlagerung der Aetherhüllen der Gasmolecüle, durch welche der Uebergang der Elektricität vermittelt wird, erklären. Es wäre dann das Flammenlicht mit demselben Rechte elektrisches Licht zu nennen, wie das Licht der Ozon-Röhre oder der Geissler'schen Röhre, welche sich von ersterer principiell nur dadurch unterscheidet, dass sie ein Dielectricum von äusserst geringem Polarisationsmaximum enthält. Für diese Uebereinstimmung der Ursache des Leuchtens der Flamme und der von elektrischen Strömen durchflossenen Gase spricht auch die Gleichartigkeit der Flammenerscheinung in Stärke und Lichtfarbe.

Ueber die

Zulässigkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentials und dessen Bedeutung zur Erklärung terrestrischer Phänomene.

(Vorgelegt d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin am 31. Mai.)

1883.

Mein Bruder, Sir William Siemens, hat in seiner Schrift „On the conservation of solar energy“ die Hypothese aufgestellt, dass die Sonne ein hohes elektrisches Potential besässe, welches vielleicht die Lichterscheinung des Zodiacallichtes hervorbrächte. Er erklärt die Entstehung und Erhaltung dieses elektrischen Potentials durch Reibung der nach seiner Theorie der Sonne in ihren Polarregionen aus dem Weltraum zuströmenden, durch die von ihr ausgehenden Licht- und Wärmestrahlen dissociirten Materie. Diese würde nach eingetretener Verdichtung wieder verbrennen und dann dem Sonnenäquator zuströmen. Hierbei würde sie durch Reibung mit dem rotirenden Sonnenkörper elektrisirt werden und dann durch die Centrifugalkraft der Sonnenrotation im elektrisirten Zustande von Neuem im Weltraum verbreitet.

Nimmt man diese von anderen Seiten viel bestrittene Theorie meines Bruders als richtig an, so liegt in der That eine ähnliche Erscheinung vor, wie die von mir beschriebene[1]) Elektrisirung der Spitze der Cheops-Pyramide durch den emporwirbelnden Wüstenstaub. Man könnte dann annehmen, dass der als leitend und von dem ihn umgebenden Flammenmeer, der Photosphäre, isolirt gedachte Sonnenkörper die eine der durch die Reibung getrennten Elektricitäten festhielte, während die andere im Weltraum durch Convection verbreitet würde. Da man dann auch annehmen muss, dass diese Convection über die

[1]) Pogg. Ann. Bd. 109, S. 355.

Bahnen der Planeten weit hinausgeht, so müsste der Sonnenkörper für diese ein elektrisches Potential haben und vertheilend auf sie wirken.

Ich will auf den Streit über die Zulässigkeit der Theorie meines Bruders nicht näher eingehen, verkenne auch das Gewicht mancher dagegen zur Geltung gebrachten Gründe nicht, bin aber der Ansicht, dass die durch diese Theorie gegebene Möglichkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentials in hohem Masse für sie spricht, da einige der bedeutendsten terrestrischen Naturerscheinungen durch dasselbe ihre bisher vergeblich gesuchte Erklärung finden würden, und da andererseits bei dem jetzigen Stande der naturwissenschaftlichen Kenntniss kaum eine andere Erklärung für das Vorhandensein eines elektrischen Sonnenpotentials zu finden sein wird. Denn bisher ist uns kein Vorgang bekannt, bei welchem nur eine Elektricität hervorgerufen wird. Wir kennen nur Scheidungen der beiden Elektricitäten, und wenn auch solche Scheidungen bei den gewaltigen mechanischen und chemischen Actionen an der Oberfläche des Sonnenkörpers aller Voraussicht nach in sehr hohem Grade auftreten, so müssen sie sich durch Leitung doch innerhalb desselben wieder ausgleichen, und selbst wenn eine dauernde Trennung beider Elektricitäten im Sonnenkörper fortbestände, würde doch keine Fernwirkung einer derselben eintreten können. Solange also nicht neue, noch gänzlich unbekannte Thatsachen auftreten, bleibt die Annahme eines elektrischen Sonnenpotentials an die Convectionstheorie meines Bruders gebunden!

Ich mag aber nicht unterlassen, kurz auf den gewichtigsten Einwand gegen diese Theorie, der ihr von den HH. Faye und Hirn entgegengestellt ist, einzugehen. Derselbe besteht darin, dass die Unveränderlichkeit der Umlaufzeit der Planeten um die Sonne die Annahme eines mit Materie gefüllten Raumes principiell nicht zuliesse. Die astronomischen Beobachtungen geböten unbedingt die Annahme einer absoluten Leere des Weltraumes, da bei der gewaltigen Geschwindigkeit der Fortbewegung der Planeten auch eine äusserst verdünnte Atmosphäre doch noch eine messbare Verminderung der planetarischen Geschwindigkeit, mithin eine Verkürzung ihrer Umlaufzeit hervorbringen müsste. Dies wäre auch richtig, wenn die Voraussetzung zuträfe, dass die Atmosphäre des Weltraumes in relativer Ruhe wäre. Das kann aber nicht der Fall sein, wenn der von meinem Bruder angenommene Kreislauf wirklich stattfindet. Man muss annehmen, dass die Sonnenatmosphäre nahe dieselbe Umlaufzeit hat, wie der Sonnenkörper. Eine etwa durch die gewaltigen auf- und niedergehenden Strömungen in der Sonnenatmosphäre, die durch die Verbrennung der durch Ausdehnung abgekühlten Sonnenbestandtheile und die Abkühlung der verbrannten äussersten Schichten der Photosphäre durch Ausstrahlung entstehen müssen, herbeigeführte Differenz in der Rotationsgeschwindigkeit wird durch Reibung der verschieden schnell rotirenden

Theile der Sonnenatmosphäre gegeneinander fortwährend wieder ausgeglichen werden. Ueber die Höhe dieser mit dem Sonnenkörper gleichmässig rotirenden Atmosphäre ist noch nichts bekannt. Nach Ritter's[1]) Berechnungen nimmt zwar die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre nach der sprungförmigen Aenderung der adiabatischen Curve in der Region der Photosphäre, in welcher der Wärmezuschuss durch die Verbrennungswärme die der fortschreitenden Verdünnung entsprechende Temperaturabnahme bedeutend verlangsamt, sehr schnell ab — wir kennen aber die Grenzen der Verdünnung noch nicht, bis zu welcher das Mariotte-Gay-Lussac'sche Gesetz in Geltung bleibt. Erreicht die Atmosphäre aber die Grenze, in welcher Anziehungskraft und Centrifugalkraft sich das Gleichgewicht halten, so muss jedes diese überschreitende materielle Molecül von nun ab wie ein Planet um die Sonne rotiren. Fände ein stetes Nachdringen von neuen diese Grenze erreichenden Massentheilchen statt, so müsste sich hier eine fortschreitende Verdichtung der Materie, mithin ein Ring bilden, der nach den Kepler'schen Gesetzen seine Rotation um die Sonne vollzöge. Diese Ringbildung kann aber bei der vorausgesetzten Continuität der Sonnenatmosphäre nicht eintreten, da die gegenseitige Reibung der Gasschichten auch über die Gleichgewichtsfläche hinaus fortdauert, mithin auch die bereits in planetarischer Bewegung befindlichen Gasschichten einer Beschleunigung unterliegen. Die Folge muss sein, dass sich mit der Zunahme der Geschwindigkeit auch der Abstand aller dieser Mikroplaneten von der Sonne fortwährend vergrössert, dass mithin der von meinem Bruder angenommene stetige Ausfluss von Sonnenatmosphäre in den Weltraum wirklich stattfinden muss. Derselbe kann nur in der Zone des Sonnenäquators stattfinden, da hier die Centrifugalkraft bei gleichem Abstande vom Sonnencentrum am grössten ist. Es muss auch angenommen werden, dass die Dichtigkeit dieser, überall in Uebereinstimmung mit dem Kepler'schen Gesetze rotirenden Atmosphäre in der Ebene des Sonnenäquators bis auf grosse Entfernungen von der Sonne hinaus constant bleibt, da die Schwerkraft der Sonne überall durch die Umlaufsgeschwindigkeit äquilibrirt ist. In den senkrecht auf der Sonnenäquatorebene stehenden Richtungen muss die Dichtigkeit dagegen abnehmen, da die Sonnenanziehung sich mit der Entfernung von der Sonnenäquatorebene vermindert.

Es folgt aus dieser Betrachtung, dass ein mit der Erscheinung des Zodiacallichtes zusammenfallender, von der Sonne ausgehender materieller Strom überall die Umlaufzeit von Planeten haben muss, die sich in dem betreffenden Sonnenabstande befinden. Von einem Widerstande, den Planeten durch die mit ihnen nahe gleichmässig sich um die Sonne bewegenden materiellen Theile des interplanetarischen Raumes

[1]) Wied. Ann. Bd. 5, S. 405, 543.

erführen, kann also keine Rede sein. Nur ein — hier zu vernachlässigender — Widerstand infolge der Neigung ihrer Ekliptik zur Ebene des Sonnenäquators muss stattfinden, auf den vielleicht die beobachtete Verminderung dieses Neigungswinkels zurückzuführen sein wird. Auch die Satelliten müssen bei der Rotation um ihre Planeten einen Widerstand durch die Atmosphäre des Weltraumes erfahren, wie auch die äusserste Grenzschicht der mit den Planeten rotirendon Atmosphäre derselben einen Reibungswiderstand erleiden muss. Vielleicht hat Hr. Hirn hinsichtlich des Mondes Recht mit seiner Behauptung, dass bei der grossen Bewegungsgeschwindigkeit der Himmelskörper auch das verdünnteste widerstehende Medium die Atmosphäre derselben fortfegen müsste!

Viele Beobachtungen machen es sehr wahrscheinlich, dass der Weltraum wenigstens innerhalb der Region unseres Sonnensystems mit brennbarem Stoffe erfüllt ist. Es spricht dies indirect auch sehr entschieden für die Annahme meines Bruders, dass die Verbrennungsproducte im Zustande grösster Verdünnung und sehr niedriger Temperatur durch die Sonnenstrahlen wieder dissociirt werden. Der gemachte Einwand, dass die Dissociationsarbeit die Energie der Lichtstrahlen absorbiren würde und der Weltraum dadurch undurchsichtig werden müsse, liesse sich durch die Annahme beseitigen, dass es nur die unsichtbaren, chemisch wirkenden Strahlen sind, welche die Dissociationsarbeit verrichten. Man kann aber auch annehmen, dass die Dissociationsarbeit im Laufe der Zeiten bereits vollführt ist, und dass jetzt nur noch die von der Sonne fortdauernd ausgehende, noch chemisch verbundene Masse von ihren Lichtstrahlen zu dissociiren ist — wozu nur ein Theil der Lichtenergie verbraucht würde. Es wäre ohne die Annahme der Dissociation nicht recht erklärlich, warum der Weltraum nicht wie die Atmosphäre der Erde wesentlich mit Sauerstoff, Stickstoff und Wasserdampf erfüllt wäre. Es lässt sich doch nicht annehmen, dass die Zusammensetzung des Sonnenkörpers eine wesentlich verschiedene von der der Erde ist, wenn beide aus derselben rotirenden kosmischen Nebelmasse hervorgegangen sind, da eine Scheidung der Materie nach dem specifischen Gewichte bei gasförmigem Zustande nicht anzunehmen ist. Es müssen daher, wenigstens in unserem Sonnensystem, die elektronegativen Stoffe überall vorherrschend sein, und es ist anzunehmen, dass auch die erkaltete ausgebrannte Sonne dereinst von einer Sauerstoff im Ueberschuss enthaltenden Atmosphäre umgeben sein wird. Ist aber der Weltraum mit dissociirten Verbrennungsproducten in grosser Verdünnung erfüllt, so müssen dieselben der Sonnenattraction überall da anheim fallen, wo sie nicht, wie in der Nähe der Aequatorialebene der Sonne, ihrer Anziehung durch die planetarische Rotation entzogen sind. Es muss daher namentlich in den Polarregionen, wo die Centrifugalkraft ganz fehlt, ein steter Zustrom dissociirter Materie

zur Sonne stattfinden, wie mein Bruder es annimmt. Bleibt die Sonnenmasse, wie wohl vorauszusetzen ist, unverändert dieselbe, so heisst das, dass ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist, bei welchem ebenso viel verbrannte Materie von der Sonne in ihrer Aequatorialzone ausströmt, wie ihr durch Massenanziehung im dissociirten Zustande in den Polarregionen wieder zugeführt wird. Demnach würde denn auch die Strömung von den Polen zum Aequator, sowie auch die nachgewiesene geringere Winkelgeschwindigkeit der Rotation der gasförmigen Sonnenmasse in ihren höheren Breiten gegeben sein.

Wenn hierdurch aber auch die Möglichkeit der Entstehung eines elektrischen Sonnenpotentials durch Friction und continuirliche Entfernung der mit der einen Elektricität geladenen Körpertheile von der Sonne gegeben ist, so bleibt der Mechanismus dieser Elektrisirung doch noch sehr dunkel. Das Licht der Sonne geht von einem Flammenmeere aus, welches nach Ritter's schönen Rechnungen eine Dicke von ca. 25 km haben muss. Ob eine Flamme verbrennender Gase von dieser Dicke noch viel Wärme und Lichtstrahlen einer heisseren Emissionsquelle durchlassen, wieviel sie von denselben absorbiren oder wie eine Wolkenschicht zurückwerfen wird, können wir nicht wissen. Ich habe kürzlich[1]) den Beweis geführt, dass Gase, welche bis auf 1500 bis 2000^0 C. erhitzt sind, noch vollständig dunkel erscheinen, während sie die langsamer schwingenden Wärmestrahlen schon bei geringer Temperaturerhöhung emittiren. Ob Gase bei noch weit höherer Erhitzung selbstleuchtend werden, ist durch das Experiment bisher nicht festgestellt. Da eine kleine Flamme aber im helleren Lichte schon einen Schatten wirft, so erscheint es unwahrscheinlich, dass viele der von tieferen und heisseren Sonnenschichten ausgehenden Licht- und Wärmestrahlen die mächtige Photosphäre zu durchdringen vermögen. Die beobachtete Sonnentemperatur und das Sonnenlicht sind dann Erscheinungen, die ihren Ursprung wesentlich in der chemischen Thätigkeit haben, die in der Sonnenatmosphäre verläuft. Diese bedingt, dass die im dissociirten Zustande aufsteigende und dabei durch Volumenvergrösserung sich abkühlende Sonnenatmosphäre zu verbrennen beginnt, wenn die Dissociationstemperaturgrenze für die betreffende Verbindung überschritten ist, und dass diese Verbrennung so lange fortdauert, bis der Wärmeverlust durch Ausdehnung gleich der freigewordenen Verbrennungswärme ist. Die scheinbare Sonnentemperatur wird daher annähernd die Dissociationstemperatur sein, und zwar die Dissociationstemperatur derjenigen Verbindungen, welche das grösste chemische Wärmeäquivalent haben, mithin des Wassers, dessen Bestandtheile in grösster Höhe verbrennen werden, während die schwereren und zugleich eine höhere Dissociationstemperatur besitzenden Massen

[1]) Berl. Ber. 1882, S. 961. — Wied. Ann. Bd. 18, S. 311.

schon in niedrigeren Regionen verbrennen. Um diesen Auftrieb der dissociirten Sonnenbestandtheile und ihre damit verbundene Verbrennung im Gange zu erhalten, müssen die endlichen Verbrennungsproducte zum Sonnenkörper zurückkehren. Wie Faye, Ritter, Reye und Andere schon dargelegt haben, geschieht dies einmal deswegen, weil die Verbrennungsproducte ein grösseres specifisches Gewicht haben, als die unverbrannten Gase, und zweitens in Folge der Abkühlung der höheren Schichten der Photosphäre durch Wärme- und Lichtstrahlung. Dadurch wird das adiabatische Gleichgewicht der über einander gelagerten Gasschichten gestört und die relativ schwerer gewordenen höheren müssen in niedergehenden Strömen zur Sonnentiefe zurückkehren. Dass diese niedergehenden Ströme nur in mittleren Sonnenbreiten als Sonnenflecken sichtbar werden, hat seinen Grund darin, dass nur hier die Bedingungen für eine rotirende Bewegung des niedergehenden Stromes vorhanden sind, wodurch demselben eine verticale Richtung gegeben wird. Die trichterförmige Verminderung des Durchmessers der Sonnenflecke ist die Folge der grossen Volumverminderung durch den rasch zunehmenden Druck. Der innere Raum der Trichter muss relativ dunkel sein, da hier die leuchtende Flammenbildung fehlt, da die Temperatur um den Betrag der Dissociationswärme geringer sein muss, als die umgebende noch unverbrannte Sonnensubstanz, und da vielleicht schon Condensationsproducte auftreten, welche als Schirm die Strahlung der heller leuchtenden tieferen Sonnenschichten zurückhalten. Andererseits ist es nicht unwahrscheinlich, dass die hoch auflodernden Sonnenfackeln aus Blasen von richtig gemischtem Knallgas oder mit Sauerstoff im richtigen Verhältniss gemischtem Kohlengase bestehen, welche in Folge geringeren specifischen Gewichtes und grösserer Wärmeentbindung bei der Verbrennung unter Durchbrechung der Penumbra und der Photosphäre hoch emporgetrieben werden und bei der Abwesenheit leuchtender Flammenbestandtheile die Strahlen der heisseren tieferen Sonnenschichten zum Theil durchlassen. Die mechanisch kaum zulässige colossale Geschwindigkeit des Aufleuchtens mancher Fackeln könnte dann in dieser Strahlung aus der Sonnentiefe ihre Erklärung finden. Mein Bruder nimmt in einem neuerdings publicirten Nachtrage zu seiner Sonnentheorie an, der Sonnenkörper selber könne nicht heisser wie etwa 3000° C. sein, da bei höherer Temperatur die chemischen Strahlen die überwiegenden würden, und bei sehr viel höherer Temperatur die Sonne sogar zu leuchten aufhören müsste. Es könnte das richtig sein, wenn die Photosphäre nicht als Schirm die heisseren Strahlen des Sonnenkörpers zurückhielte, wie es wahrscheinlich ist. In der That können wir aus Analogien der Beobachtungen keinen einigermassen sicheren Schluss ziehen, ob ein auf Hunderttausende oder gar Millionen von Graden erhitzter Körper noch leuchten wird. Es könnten von ihm sogar nur Strahlen so geringer Wellenlänge

ausgehen, dass sie auch keine chemische Arbeit mehr leisteten! Dann wäre der scheinbar dunkle Kern der Sonnenflecke auch so zu erklären, dass die flammenlosen, durch eintretende Dissociation relativ abgekühlten, zur Sonne zurückkehrenden Verbrennungsproducte durchsichtig blieben und den für die Lichtstrahlung zu hoch erhitzten tieferen Sonnenschichten die Durchstrahlung gestatteten! Dafür würde sogar die violette Farbe der Kerne der Sonnenflecken sprechen. Für darstellbare Temperaturen gilt allerdings das Gesetz, dass neben den der höheren Temperatur entsprechenden schnellen Aetherschwingungen auch die ganze Scala der langsameren auftritt, ob sich das aber bei so ungemein viel höheren Temperaturen nicht ändert, kann man nicht wissen.

Es war nöthig, auf die wahrscheinliche Beschaffenheit des Sonnenkörpers und seiner Licht und Wärme ausstrahlenden Umhüllung etwas näher einzugehen, um eine Grundlage für die Beantwortung der Frage zu gewinnen, ob bei dem jetzigen Umfange unseres Wissens die Annahme eines elektrischen Sonnenpotentials als zulässig erscheint. Wie schon hervorgehoben, ist seine Entstehung nur denkbar, wenn ein Scheidungsvorgang beider Elektricitäten an der Sonnenoberfläche stattfindet, und wenn gleichzeitig die eine der geschiedenen Elektricitäten abgeleitet wird. Da die Flamme ein guter Leiter der Elektricität ist, so kann man die ganze Photosphäre und die wahrscheinlich auch schon an dem Verbrennungsvorgange theilnehmende Penumbra als einen leitenden Mantel betrachten, welcher den heisseren Sonnenkörper umhüllt. Da Flammen ferner die Eigenschaft haben, in ähnlicher Weise wie Spitzen die Elektricität an ihre Umgebung, hier also an ihre gasförmigen Verbrennungsproducte zu übertragen, so muss die Photosphäre durch eine theilweise Ausströmung der Verbrennungsproducte in den Weltraum continuirlich entladen werden. Wäre also die Photosphäre von dem noch nicht in der Verbrennung begriffenen tieferen Sonnenkörper isolirt und dieser als ein Leiter der Elektricität zu betrachten, so könnte er elektrisch geladen werden durch Reibungs- oder auch chemische Vorgänge, die zwischen dem leitenden Sonnenkörper und der Photosphäre stattfänden. Die Frage, ob heisse Gase Leiter der Elektricität sind, auch wenn keine Flammenerscheinung in ihnen stattfindet, ist noch nicht durch directe Versuche entschieden. Dass die Gase, wie alle Körper, Leiter der Elektricität werden, wenn die dielektrische Polarisation ihrer Molecüle ihr Maximum erreicht hat, und dass dieses Polarisationsmaximum mit der Verdünnung der Gase — mithin auch mit ihrer Erwärmung vom absoluten Nullpunkt ab gerechnet — proportional abnimmt, habe ich bereits im Jahre 1857[1]) bei Berechnung meines Ozonapparates nachgewiesen. Es unterscheiden sich danach Leiter von

[1]) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 66.

Nichtleitern nur dadurch, dass bei ersteren das Polarisationsmaximum verschwindend klein ist. Dass bei sehr hoch erhitzten Gasen das Polarisationsmaximum, wie bei den metallischen Leitern, verschwindend klein werden sollte, ist kaum anzunehmen. Directe Versuche über die dielektrischen Eigenschaften hocherhitzter flammenreicher Gase sind mir nicht bekannt, doch lassen sich die Erscheinungen des elektrischen Funkens, sowie die Leuchterscheinung in dem Ozonapparat und den Geissler'schen Röhren, sowie auch die schönen Versuche von Hittorf[1]) auch ohne die Annahme, dass sehr hoch erhitzte Gase in anderer Weise leiten, wie kalte von gleicher Dichte, erklären. Die hohe Temperatur der Sonnengase scheint daher bisher kein Hinderniss zu sein, ihnen isolirende Eigenschaften zuzuschreiben. Ihr Polarisationsmaximum wird sogar, der Dichte der Sonnenatmosphäre entsprechend, trotz ihrer hohen Temperatur grösser sein, als das unserer kalten atmosphärischen Luft.

Ganz andere Verhältnisse können aber eintreten bei Eintritt des kritischen Zustandes in grösseren Sonnentiefen. Für die elektrische Eigenschaft des kritischen Zustandes haben wir weder Versuche noch Analogien, können daher das Sonneninnere auch als eine metallisch, d. i. mit verschwindend kleinem Polarisationsmaximum, leitende Masse annehmen. Die Oberfläche dieser im kritischen Molecularzustande befindlichen Sonnenmasse könnte dann ein elektrisches Potential haben. Es müsste hierbei aber die Frage in Betracht gezogen werden, ob die leitende Photosphäre nicht an ihrer dem Sonneninnern zugewandten Fläche durch Vertheilung elektrisch werden könnte, so dass die Sonne mit ihrer sie umhüllenden Photosphäre selbst eine gewaltige Leydener Flasche bildete, wodurch eine Fernwirkung der Elektricität des leiten-

[1]) Hr. Hittorf sagt in einer Mittheilung in Wied. Ann. Bd. 19, S. 73, dass meine der Akademie am 9. Nov. 1882 gemachte Mittheilung, dass Gase bei Temperaturen von 1500 bis 2000° C. noch vollständig dunkel erscheinen, wenn sie vollkommen flammenfrei sind, und dass das Leuchten der Gase beim Durchgange eines elektrischen Stromes ein ähnlicher Vorgang sei, wie das Leuchten einer Flamme, welche keine festen Bestandtheile ausscheidet, von ihm selbst und Anderen schon früher bekannt gemacht sei. Ich gebe dies hinsichtlich des Nichtleuchtens heisser Gase gern zu, habe überhaupt keine Prioritätsansprüche an diese Mittheilung geknüpft, glaube jedoch, dass ich zuerst experimentell nachgewiesen habe, dass so hoch erhitzte Gase wirklich vollkommen dunkel erscheinen, wenn auch die heisse Luftschicht über einen Meter dick ist und das Auge durch volle Dunkelheit den höchsten Grad von Empfindlichkeit angenommen hat. Die Hittorf'schen Versuche wiesen nur eine relative Dunkelheit heisser Gase nach. Die Leitungsfähigkeit der Gase anlangend, die Faraday für hohe Spannungen schon annahm, so habe ich in meinem oben angeführten, ca. 25 Jahre älteren Aufsatze bereits das allgemeine Gesetz aufgestellt, nach welchem die Leitungsfähigkeit der Gase beginnt. Hierauf möchte ich auch Hrn. E. Wiedemann hinweisen, welcher die Priorität für die Erklärung des Leuchtens der Gase beim Durchgange eines elektrischen Stromes als Folge einer dielektrischen Polarisation in Anspruch nimmt.

den Sonnenkerns grösstentheils ausgeschlossen würde. Ohne Weiteres liess sich dies nicht annehmen, da die Leitungsfähigkeit der Flamme offenbar ganz andere, direct mit dem Verbrennungsvorgange selbst zusammenhängende Ursachen hat, wie die der nicht in chemischer Action befindlichen leitenden Körper, so dass eine Analogie zwischen beiden hinsichtlich ihrer elektrischen Vertheilungsfähigkeit kaum zu ziehen ist. Ich habe daher einige Versuche darüber angestellt, ob eine Flamme der Influenzwirkung in gleicher Weise unterliegt, wie andere Leiter, und diese Versuche haben die Voraussetzung bestätigt. Danach können zwei von einander isolirte Flammen in gleicher Weise als Belegungen einer geladenen Leydener Flasche auftreten, wie andere Leiter[1]). Es muss hiernach angenommen werden, dass der Sitz der Sonnenelektricität wesentlich in der Photosphäre zu suchen ist und nicht in dem Sonnenkörper selbst. Die elektrischen Eigenschaften der Flamme sind — trotz aller bisher mit denselben angestellten Versuche — noch sehr unklar. Namentlich ist noch nicht entscheidend festgestellt, ob eine durch sie selbstthätig erzeugte Potentialdifferenz zwischen den verschiedenen Zonen der Flamme, besonders zwischen derjenigen, wo die Verbrennungserscheinung beginnt, und der, wo sie erlischt, besteht oder nicht. Wäre dies der Fall, wie aus einigen Versuchen von Riess und Anderen wahrscheinlich erscheint, so könnte auch hierin bei den gewaltigen Dimensionen des die Sonne umgebenden Flammenmeeres und bei den

[1]) Der Versuch wurde in der Weise angestellt, dass ein ringförmiger Gasbrenner isolirt wurde. Bei geöffnetem Gashahn erhob sich über demselben eine etwa 15 cm hohe cylindrische Flamme von ca. 2 cm Durchmesser. Die Flamme durchstrich einen isolirt angebrachten, sie concentrisch umgebenden Metallcylinder von ca. 8 cm Durchmesser. Zur Herstellung der leitenden Verbindung mit der Flamme wurde ein isolirter kreisförmig gebogener Platindraht in den unteren Theil der Flamme gelegt. Die zwischen diesem Platindraht und dem Metallcylinder durch eine galvanische Kette von 50 Daniells stattfindende Ladung wurde nun mit Hülfe meiner bekannten, schnell oscillirenden elektro-magnetischen Wippe gemessen, und zwar abwechselnd bei fast ganz geschlossenem und bei geöffnetem Gashahn. Die Differenz der Ablenkungen des Spiegelgalvanometers war dann ein Mass der Capacität der aus Flamme und Metallcylinder gebildeten Leydener Flasche. Die erzielten Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Zahl der Oscillationen der Wippe pro Minute	Differenz der Scalenablenkung zwischen niedriger und hoher Flamme	Grösse einer Entladung
310	3	96
600	6	100
700	8	115
1000	12	120

Die wachsenden Zahlen der letzten Columne zeigen, dass bei langsamen Schwingungen ein Theil der Flaschenladung durch Leitung verloren ging.

ihnen entsprechenden grossen Differenzen in der Temperatur und der Dichtigkeit die Ursache der Sonnenelektricität gesucht werden, da die Elektricität der äusseren Schichten der Photosphäre dann auf die Verbrennungsproducte überginge und mit ihnen nach der Theorie meines Bruders zum Theil in der Richtung der Rotationsebene der Sonne im Weltraum verbreitet würde. Mag aber der Elektrisirungsvorgang in der Sonnenverbrennung selbst, in der Reibung der aus dem Weltraum ihr zuströmenden Materie oder in anderen noch unbekannten Ursachen zu suchen sein — die Möglichkeit der Existenz eines elektrischen Sonnenpotentials ist durch die äquatoriale Ausbreitung von Verbrennungsproducten der Sonne im Weltraum gegeben.

Diese Möglichkeit erhebt sich aber zum Range grosser Wahrscheinlichkeit, wenn man die Leichtigkeit betrachtet, mit welcher sich schwierige, bisher noch ungelöste Probleme terrestrischer Naturerscheinungen mit Hülfe eines elektrischen Sonnenpotentials lösen lassen. Hat die Sonne ein elektrisches Potential, so muss sie vertheilend auf alle Himmelskörper, also auch auf die Erde wirken. Eine Ansammlung entgegengesetzter Elektricität auf ihrer ganzen Oberfläche kann aber auch bei dieser nur stattfinden, wenn die frei werdende entgegengesetzte Elektricität abgeleitet wird. Diese Ableitung ist ebenfalls nur denkbar durch Verbreitung im Weltraum. Es ist ungefähr derselbe Vorgang, wie er stattfindet, wenn einem geladenen kugelförmigen Conductor eine kleinere isolirte Kugel gegenübergestellt wird. Die Kugel nimmt dann allmählich eine entgegengesetzte Ladung an, während die gleiche Elektricität sich durch Zerstreuung im Raume verliert. Bei der Erde wird diese Zerstreuung der durch Sonnenvertheilung entstandenen sogenannten freien Elektricität noch durch die grosse Verdünnung der höheren Luftschichten und die auf- und niedersteigenden, mit Feuchtigkeit beladenen Luftströme wesentlich begünstigt, da durch diese den höheren Schichten sehr verdünnter Luft die freie Elektricität zugeführt wird. Dass in diesen verdünnten höheren Luftschichten elektrische Strömungen vor sich gehen, beweisen die Nord- und Südlichter. Man könnte dieselbe als den an der Grenze der Erdatmosphäre stattfindenden elektrischen Ausgleich zwischen der von der Sonne mit negativer Ladung ausströmenden Materie und der freigewordenen positiven Influenzelektricität der Erde betrachten. Dieser Ausgleich wird immer dann auftreten müssen, wenn durch Aenderung des Sonnenpotentials auch das der Erde geändert wird. Zur Herstellung des Gleichgewichtes muss dann positive oder negative Elektricität von der Erde ausströmen; es muss also entweder ein Ausgleich mit der von der Sonne ausströmenden negativen Elektricität an der Grenze der Atmosphäre stattfinden, oder es muss diese der Erde zufliessen. Dass dieser Austausch vorzugsweise in den Polargegenden der Erde stattfindet, kann darin seinen Grund haben, dass die polare Luft stärker elektrisch ist, da sie durch

die äquatoriale Luftströmung in den oberen Regionen der Atmosphäre fortwährend durch diese stärker elektrische Luft verdrängt wird, mithin in ihrer ganzen Masse die Elektricität der höchsten Luftschichten niederer Breiten annehmen muss. Die mit den Nord- und Südlichtern in innigem Zusammenhang stehenden Erdströme sind dann als eine nothwendige Consequenz des vorzugsweise in den Polargegenden stattfindenden Ausgleiches der Intensitätsschwankungen der Sonnen- und Erdelektricität zu betrachten. Diese Ausgleichsströme müssen ihrerseits durch ihre elektrodynamische Wirkung die Magnetnadel beeinflussen.

Es drängt sich hier aber die Frage auf, ob nicht der Erdmagnetismus selbst als eine elektrodynamische Wirkung der elektrischen Ladung der Erde aufzufassen ist. Nach der schönen Untersuchung, die Hr. Rowland im Helmholtz'schen Cabinet unter dessen Leitung angestellt hat[1]), ist es als nachgewiesen zu betrachten, dass mechanisch fortbewegte stationäre Elektricität elektrodynamische Wirkungen in ähnlicher Weise ausübt, wie ein elektrischer Strom. Danach muss die Erde, wenn ihre Oberfläche mit Elektricität von grosser Dichtigkeit geladen ist, in Folge ihrer Rotation in gleicher Weise magnetische Erscheinungen zeigen, wie wenn elektrische Ströme sie umkreisten, die während der Zeit einer Umdrehung in jeder Breite ebenso viel Elektricität um sie herumführten, wie die statische Elektricität beträgt, die auf dem betreffenden Oberflächenringe sich befindet. Wie gross die Dichtigkeit der Elektricität auf der Erdoberfläche sein müsste, um durch ihre Rotation den Erdmagnetismus hervorzubringen, wird geübten Mathematikern nicht schwer fallen, zu berechnen. Da das magnetische Moment eines Kreisstromes im Verhältniss der umströmten Fläche steht, so wird sich dieselbe voraussichtlich bei den grossen Dimensionen der Erde nicht als unzulässig gross herausstellen. Ferner wird bei den colossalen Dimensionen der Sonne, deren Oberfläche 11 483 Erdoberflächen enthält, während die Entfernung der Sonne nur 22 934 Erdhalbmesser beträgt, die Dichtigkeit der Sonnenelektricität nur etwa doppelt so gross, wie die der Erde zu sein brauchen, um diese durch elektrische Vertheilung hervorzurufen. Wäre die Erdoberfläche ganz gleichmässig mit Elektricität beladen, so müssten die magnetischen Pole mit den Rotationspolen der Erde zusammenfallen. Da dem nicht so ist, und da überhaupt grosse Unregelmässigkeiten in der Vertheilung des Erdmagnetismus auf der Erdoberfläche stattfinden, so muss die Vertheilung der ruhenden Elektricität auf der Erdoberfläche eine unregelmässige sein. Es erscheint dies auch wahrscheinlich, wenn man bedenkt, dass ca. $^1/_3$ der Erdoberfläche aus Festland besteht, welches grossentheils Felsboden hat, der von schlecht leitendem Erdreich oft nur dünn

[1]) Berl. Ber. 1876, S. 211—216.

bedeckt ist. Die Ansammlung der Influenzelektricität wird daher hier vorzugsweise auf der Oberfläche des glühenden, gut leitenden Erdinnern zu suchen sein, durch deren grösseren Abstand von der Erdoberfläche der überwiegende Einfluss der zunächst liegenden in convectiver Bewegung befindlichen Elektricitätsmassen vermindert wird. Ob sich die bestehende Vertheilung des Erdmagnetismus, sowie die beobachteten periodischen und unregelmässigen Störungen desselben aus dieser Theorie über die Ursache der erdmagnetischen Erscheinung werden herleiten lassen, muss späterer eingehender Forschung anheimfallen. Die täglichen regelmässigen Störungen könnten darin ihre Erklärung finden, dass die Dichtigkeit der Influenzelektricität auf der der Sonne abgewendeten Seite etwas geringer sein muss, wie auf der ihr zugewendeten. Diese von der Stellung der Sonne abhängende ungleiche Dichtigkeit der Erdelektricität muss mit der Rotation der Erde fortschreiten, kann daher auch die Ursache der von Lamont erörterten regelmässigen äquatorialen Erdströme sein. Ebenso können die magnetischen Störungen des Mondes in der Rückwirkung der Mondelektricität auf die Vertheilung der Influenzelektricität der Erde ihre Erklärung finden. Dagegen wird die säculare Aenderung der Lage der magnetischen Pole wohl nur auf kosmische, noch ganz unerkannte Ursachen zurückzuführen sein.

Mag diese Theorie aber auch noch vieles unerklärt lassen, so gewährt sie doch wenigstens die Möglichkeit, eine Erklärung für die Entstehung des Erdmagnetismus im Anschluss an unsere bisherigen Erfahrungen zu geben. Es ist dies bei keiner der bisherigen Theorien der Fall. Der Annahme eines Centralmagnets im Innern der Erde widerspricht schon die allgemeine Erfahrung, dass die Glühhitze den Magnetismus aller Körper vernichtet. Ohne gänzlich von der Erfahrungsgrundlage abzusehen, kann man daher die Annahme eines Centralmagnets nicht aufrecht erhalten. Der Annahme einer Schicht magnetischer Erze in der Erdkruste als Sitz des Erdmagnetismus widerspricht einmal die Rechnung, da der Magnetismus einer solchen Schicht, auch wenn sie möglichst dick und zum Maximo magnetisirt angenommen wird, nicht ausreichen würde, um den vorhandenen Erdmagnetismus hervorzubringen; dann aber auch die Unmöglichkeit, einen Grund für die Entstehung der Magnetisirung dieser Erzschicht aufzufinden, da dieselbe doch nicht von Anfang an vorhanden gewesen sein kann, sondern erst nach der Erkaltung der Erde entstanden sein müsste. Dasselbe würde von der nach Faraday's Entdeckung der magnetischen Eigenschaften des Sauerstoffs der Luft aufgestellten Theorie, dass der Sauerstoff der Luft der Sitz des Erdmagnetismus wäre, geltend zu machen sein, wenn nicht die Rechnung schon ergäbe, dass der Sitz dieses Magnetismus sich nicht ausserhalb der Erdoberfläche befinden kann. Ebenso wenig können die aufgestellten Theorien des Erdmagnetismus,

welche auf thermoelektrischen Strömen oder, wie Zöllner es versuchte, auf Convectionsströmen im flüssigen Erdinnern beruhen, Beachtung finden, da in einem nach allen Seiten gleich gut leitenden Medium solche Ströme gar nicht zur Erscheinung kommen können. Uebrigens ist auch für die Existenz fortdauernder regelmässiger Strömungen des flüssigen Erdinnern gar keine Ursache aufzufinden.

In ähnlicher Weise, wie ein elektrisches Sonnenpotential die Möglichkeit der Erklärung des Erdmagnetismus mit den ihm verwandten Erscheinungen der Nord- und Südlichter und der Erdströme gewährt, giebt es auch eine Handhabe für die Erklärung der Luftelektricität und der Gewitterscheinungen. Dass die Erde negativ elektrisch geladen sein müsste, nahm schon Lamont an zur Erklärung der so wechselnden und unsteten Luftelektricität. Seine Ansicht, dass diese elektrische Ladung durch thermoelektrische Differenzen zu erklären sei, ist aber ebenso wenig haltbar, wie die Ansicht, dass Reibungsvorgänge ein elektrisches Erdpotential erzeugen könnten. Ein solches kann nur durch kosmische Influenz und Ableitung der frei werdenden gleichen Elektricität durch Verbreitung im Raume oder Neutralisirung mit der entgegengesetzt geladenen Materie, die von der Sonne in der Richtung der Ebene des Sonnenäquators ausfliesst, entstehen. Nimmt man aber an, dass dies der Fall sei, dass mithin die Erde mit der Sonne einen elektrischen Ansammlungsapparat bildet, dessen trennendes Dielectricum die Atmosphäre der Sonne und der Erde und der mit äusserst verdünnter Materie erfüllte interplanetare Raum ist, so sind alle von Lamont und anderen aus der elektrischen Ladung der Erde gezogenen Schlussfolgerungen berechtigt. Zur Erklärung der Gewitterelektricität scheint aber doch die geringfügige und wechselnde atmosphärische Elektricität, auf die sie bisher zurückgeführt wird, nicht ausreichend zu sein. Das plötzliche Auftreten so gewaltiger Massen Elektricität, wie sie namentlich bei tropischen Gewittern zur Erscheinung kommen, weist die Annahme zurück, dass dieselbe ihren Sitz in der schwachen elektrischen Ladung der verhältnissmässig geringen Luftmenge, die den Träger der Gewitterwolken bildet, gehabt habe. Es müssen ergiebigere Quellen sein, denen sie entstammt. Eine solche Quelle von unerschöpflicher Mächtigkeit findet sich in der elektrischen Ladung der Erde durch Sonneninfluenz. Wenn man einer grossen elektrisch geladenen Kugel einen leitenden Gegenstand nähert, so unterliegt derselbe der vertheilenden Wirkung der auf der Oberfläche der Kugel befindlichen Elektricität. Findet die in dem Theile des Leiters, welcher der Kugel am entferntesten ist, angesammelte gleichartige Elektricität eine Ableitung nach benachbarten, noch weiter entfernten Leitern, so wird der erstere Leiter dauernd mit Elektricität geladen, deren Polarität der der Kugel entgegengesetzt ist. Ist die Erhebung des Leiters über die Oberfläche aber nur gering im Ver-

hältniss zum Durchmesser der Kugel, so kann auch die Spannungsdifferenz zwischen der Kugelfläche und dem entferntesten Punkte der Erhebung nur gering sein. Aus diesem Grunde kann auch bei einer grossen Dichtigkeit der Elektricität auf der Erdoberfläche auf derselben doch keine elektrische Abstossung stattfinden, und selbst auf Bergspitzen kann sie noch nicht sehr bemerklich sein. Anders aber gestaltet sich das Verhältniss, wenn eine Kugel durch Influenz einer entfernten elektrischen Kugel geladen ist. Die nach der Faraday'schen Molecularvertheilungstheorie von der ladenden zur geladenen und abgeleiteten Kugel gehenden Kraftlinien treffen die letztere überall fast senkrecht und bei grossem Abstande der influenzirend auf einander wirkenden Kugeln im Verhältniss zu den Durchmessern der Kugeln in nahe gleicher Anzahl auf der der vertheilenden Kugel zugewandten, wie der abgewandten Seite. Nähert man nun einen isolirten, leitenden Schirm, der einen Theil der Oberfläche der influenzirten Kugel bedeckt, der letzteren, so wird er bei geringer Dicke nicht merklich elektrisch. Sobald man jedoch den Schirm ableitend berührt, nimmt er die der Kugel entgegengesetzte Elektricität an, während die gleiche abgeleitet wird. Entgegengesetzt ist das Verhalten, wenn der Schirm mit der Kugel selbst leitend verbunden wird. Dann bildet der Schirm einen Theil der Kugeloberfläche und nimmt die elektrische Ladung derselben an, wobei diese unter dem Schirm unelektrisch wird. Als solche Schirme treten nun auf der Erdoberfläche die Gewitterwolken auf. Denkt man sich einen solchen Wolkenschirm in der Bildung über einem Theile der Erdoberfläche begriffen, so wird derselbe unbeeinflusst durch die Erdelektricität bleiben, solange die leitenden Wassertheilchen sich isolirt und in grösserem Abstande von einander befinden. Nebel und leichte Wolken werden daher nicht elektrisch werden. Sobald aber der Nebel sich so weit verdichtet hat, dass seine leitenden Theile in Berührung mit einander kommen, oder die Entfernung zwischen ihnen so klein wird, dass schon Elektricität sehr geringer Spannung den Zwischenraum überspringen kann, so unterliegt die Wolke dem Vertheilungsvorgange. Dieser kann einmal dadurch eingeleitet werden, dass sie durch aufsteigende Wolkenwirbel bis in sehr hohe Regionen hinauf leitende Verbindung mit dort befindlichen Wolken erhält. Dann nimmt diese leitend zusammenhängende Wolke in ihren unteren Theilen die der Erdelektricität entgegengesetzte Elektrisirung an, während die obere die ihr gleiche aufnimmt. Es kann eine dichte leitende Wolkenbank aber auch an einer oder mehreren Stellen mit der Erde selbst in leitende Verbindung kommen. Dann bildet sie einen Theil der leitenden Erdoberfläche und nimmt die Elektricität derselben an[1]). Der

[1]) Bei einer Reise auf dem mittelländischen Meere hatte ich in der Nähe der spanischen Küste zwischen Carthagena und Almeria im Winter 1865 Gelegenheit,

letztere Vorgang wird am leichtesten eintreten am Abhange steiler Berge, an die die Wolkenschichten sich anlehnen. Gebirge sind daher häufig Gewitterbildner. Bei der Entstehung der die Träger der Gewitterelektricität bildenden Wolken scheint die Elektricität keine wesentliche Rolle zu spielen. Die Ursache der Wolkenbildung ist der Regel nach in der auf- und niedergehenden Luftbewegung zu suchen, welcher nicht nur diese und der den Wolken entfallende Regen, sondern auch die Entfesselung der Stürme fast ausschliesslich zuzuschreiben ist. Die hierüber in der Meteorologie vielfach noch herrschenden An-

den Verlauf der Erscheinung einer Wasserhose zu beobachten, welcher mir entschieden für diese Auffassung zu sprechen scheint.

Zwischen dem Schiffe und der Küste in der Nähe von Almeria zeigte sich bei lebhaft bewegter, sogenannter todter See ohne wesentliche Luftbewegung eine schwarze, dichte, aber, wie es schien, nicht hohe Wolkenbank, unter welcher das Meer in wildester Bewegung zu sein schien. Es erschien dort als ein weisser, hoch aufschäumender, ziemlich runder Fleck, dessen Durchmesser die Seeleute auf 2 bis 3 Seemeilen schätzten, während seine Umgebung nur glatte Wellenzüge ohne alle Sturzwellen zeigte. Trotz der beträchtlichen Entfernung des Schiffes von der heftig bewegten Stelle, die mehrere Seemeilen betrug, konnte man doch deutlich durch das Fernrohr erkennen, dass die wilde Brandung der Meeresoberfläche sich mehrere Meter über die scharf abgegrenzte Oberfläche des relativ ruhigen Meeresspiegels erhob. Die Wolke senkte sich an einer Stelle trichterförmig nieder und bildete einen dem Rüssel des Elephanten ähnlichen, gekrümmten Wolkenstreifen, der bis ziemlich nahe zu der schäumenden Meeresfläche hinabreichte und sich unten etwas verästelte. Eine vollständige Berührung mit der schäumigen Fläche war nicht zu erkennen, auch fand auffallender Weise unter dem Wolkenrüssel kein stärkeres Schäumen des Meeres als an den übrigen Stellen statt. Der Rüssel selbst rotirte langsam, wenn ich mich recht erinnere, im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers über dem weissen Fleck, und zwar nahm auch seine Verbindungsstelle mit der Wolke an dieser Bewegung Theil, wenn auch nicht in gleichem Umfange. Leider entzog uns die einbrechende Nacht und die wachsende Entfernung nach etwa halbstündiger Beobachtung, während welcher der Rüssel etwa anderthalb Umdrehungen gemacht hatte, wobei seine Spitze sich constant auf etwa $^1/_3$ des Radius des weissen Fleckes von dessen Rande erhielt, die weitere Betrachtung dieses interessanten Phänomens, welches mit mir mein Bruder William und seine Frau, sowie die zur Besatzung des französischen Kabelschiffes, auf welchem wir uns befanden, gehörigen Marineofficiere mit grösster Spannung verfolgten. Von einer Wirbelbewegung war bei demselben nichts zu bemerken. Es herrschte beinahe Windstille. Es konnte nur eine rein elektrische Erscheinung sein, die in einer elektrischen Strömung von der Erde zur Wolke bestehen musste. Nimmt man an, dass diese Strömung an einer Stelle so stark geworden war, dass sich hier durch elektrische Fortführung der Flüssigkeit eine leitende Wasserstrasse zwischen Meer und Wolke bildete, so erklärt sich auch die Rotation des Rüssels unter dem Einflusse des Erdmagnetismus. Während der Nacht tobte an der spanischen Küste ein Gewitter, dessen Entstehung wir wahrscheinlich in der Trombe beobachtet hatten. Doch schien diese selbst ihren Lauf später von der spanischen nach der afrikanischen Küste gerichtet zu haben, denn gegen Ende der Nacht wurde unser Schiff nahe derselben von einem nur wenige Minuten andauernden, so furchtbaren Unwetter befallen, dass es dadurch in die grösste Gefahr gerieth, und die Seeleute der festen Ansicht waren, die Trombe sei über das Schiff fortgegangen.

schauungen bedürfen meiner Ansicht nach in einigen Punkten der Berichtigung. Würde das Gleichgewicht des Luftmeeres nicht stets durch die ungleiche Erwärmung und Abkühlung der Luft durch die Strahlung gestört, so müssten Temperatur und Dichtigkeit der Atmosphäre bis zur grössten Höhe im sogenannten indifferenten Gleichgewicht sein, und zwar in der Weise, dass der Temperaturverlust bei zunehmender Höhe der Ausdehnungsarbeit des Gases überall äquivalent wäre. Die höhere Lufttemperatur der niedrigen Breiten würde sich durch langsam verlaufende Wirbel mit horizontaler Rotationsaxe, wie die Passatwinde sie in grossem Massstabe darstellen, ausgleichen, und schliesslich würde das ganze Luftmeer in gleichen Höhen gleiche Temperatur haben. Dieses indifferente oder auch adiabatische Gleichgewicht wird nun durch vorzugsweise Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten durch die Sonnenstrahlung, durch die Absorption derselben beim Durchgang durch die Atmosphäre und die vorzugsweise Abkühlung der höheren Schichten durch Ausstrahlung fortwährend gestört. Es werden dadurch die unteren Schichten leichter und die oberen schwerer, wie es das adiabatische Gleichgewicht bedingt, und diese Störung muss sich durch auf- und niedergehende Strömungen in der Atmosphäre ausgleichen. Da die aufsteigende Luft, welche am Erdboden wärmer geworden ist, wie es der adiabatischen Temperaturcurve entspricht, diesen Wärmeüberschuss beim Emporsteigen beibehält, der Auftrieb aber mit der wachsenden Höhe des aufgehenden Luftstromes zunimmt, weil die am Erdboden nachströmenden Luftschichten immer denselben Temperaturüberschuss haben, so muss der Aufstrom an den Stellen, wo er einmal durch besonders günstige locale Verhältnisse entstanden ist, so lange fortdauern, bis der Temperaturunterschied ausgeglichen ist. Die durch den Aufstrom der relativ leichteren Luft und den Niedergang der durch Strahlung abgekühlten, relativ schwereren an anderen Stellen geleistete Arbeit muss sich in lebendige Kraft umsetzen, indem sie die Luft in lebhaftere Bewegung versetzt. Es wird dies wesentlich durch die Volumenvergrösserung der aufsteigenden Luft durch Druckverminderung bewirkt. Da bei dem grossen Durchmesser der Erdkugel der Luftraum mit der Höhe nur unmerklich grösser wird, so muss die Geschwindigkeit der aufsteigenden Luft schon aus diesem Grunde nahe proportional der Druckverminderung zunehmen. In den höchsten Luftregionen, bis zu denen jeder sich bildende Aufstrom gelangen wird, muss daher die Luftgeschwindigkeit eine sehr bedeutende sein, und mit der gleichen Geschwindigkeit muss hier die umgebende ruhige Luft zur Seite gedrängt werden, um Platz für die angekommene zu schaffen. Diese Verdrängung wird namentlich nach der Richtung hin stattfinden, wo ein niedergehender Luftstrom sich gebildet hat zum Ersatz der auf der Erdoberfläche zur Stelle des Aufstromes nachströmenden erhitzten Luft. Diese niederströmende Luft verdichtet sich nun zwar beim

Niedergange wieder, der jeweiligen Höhe entsprechend, sie behält aber dabei die in den oberen Regionen erhaltene Geschwindigkeit bei. Es ist ersichtlich, dass das Endresultat eine sehr grosse Luftgeschwindigkeit auf der Erdoberfläche sein kann, wenn die Strömung des adiabatischen Gleichgewichtes eine qualitativ und quantitativ beträchtliche war. Diese localen Stürme, deren Richtung durch die Rotation der Erde nach dem Dove'schen Drehungsgesetze modificirt wird, müssen besonders heftig werden, wenn der Aufstrom selbst ein engbegrenzter ist, da dann der Ausgleichungsprocess, d. i. die Umwandlung der in der Gleichgewichtsstörung angesammelten Energie in Luftgeschwindigkeit, auf eine verhältnissmässig geringe Luftmenge beschränkt ist. Doch auch starke, über ganze Continente fortgehende Stürme können durch aufsteigende Luftströme von grosser räumlicher Ausdehnung erzeugt werden. Dass der niedergehende Luftstrom eine Druckvermehrung auf den Erdboden, der aufgehende eine Verminderung des Luftdruckes bedingt, folgt aus den mechanischen Bewegungsgesetzen. Doch muss auch schon die Bewegung der Luft an sich stets ein Sinken des Barometerstandes verursachen, da die bewegte Luft die ruhende an der Berührungsgrenze mit fortreisst, mithin eine Verdünnung der ruhenden bewirkt. Das Endresultat des Störungsausgleichs wird daher ein Ueberführen immer grösserer Luftmassen in wirbelnde Bewegung und schliesslich eine Rückbildung der lebendigen Kraft durch Reibung in Wärme sein.

Es folgt aus dieser Betrachtung, dass der Wasserdampf in der Luft nicht die grosse Rolle bei der Luftbewegung spielt, die ihm gewöhnlich beigelegt wird, da sich Luftbewegungs- und Luftdruckserscheinungen auch ohne den Wassergehalt der Luft erklären lassen. Man muss nur den Sitz der Stürme, d. i. hier den Ort der Beschleunigung der Luftmassen, nicht an der Erdoberfläche, sondern wesentlich in den höchsten Luftregionen suchen. Bestände die Atmosphäre nur aus Wasserdampf, so würden die Erscheinungen ganz ähnliche sein. Der Wasserdampf unterliegt dem adiabatischen Ausdehnungsgesetze ebenso wie die Luft, nur vermindern sich bei ihm Dichtigkeit und Temperatur mit wachsender Höhe weit weniger als bei den permanenten Gasen der Atmosphäre. Nach Ritter würde eine Dampfatmosphäre ca. dreizehnmal höher sein als eine Luftatmosphäre. Es findet zwar nach Clausius und Sir William Thomson bei der adiabatischen Ausdehnung des Dampfes eine fortwährende Condensation statt, doch muss dieselbe in den Höhen, in denen erfahrungsmässig die Wolkenbildung eintritt, noch zu gering sein, um die beobachteten Niederschläge hervorzubringen. Der Grund der bei aufgehenden Luftströmen eintretenden Condensation liegt wesentlich darin, dass der Wasserdampf mit der Luft innig gemischt ist und dass derselbe im aufgehenden Strome nicht die ihm zukommende adiabatische Temperatur annimmt, sondern die der weit

überwiegenden Luftmasse, mit welcher er gemischt ist. Da die Luft sich nun mit steigender Höhe weit schneller abkühlt als der Dampf, so wird dieser unter die ihm angehörige adiabatische Temperatur abgekühlt, und diese Temperaturverminderung verursacht seine Condensation, wenn der Sättigungspunkt des Dampfes überschritten wird.

Gegen diese Auffassung spricht scheinbar der Umstand, dass durch Luftfahrer wiederholt constatirt ist, dass Schichten wärmerer Luft häufig über kälteren gelagert sind, während das adiabatische Ausdehnungsgesetz eine stetige Abnahme des Druckes und der Temperatur verlangt. Es erklärt sich dies aber leicht durch die ungleiche Beschaffenheit der Erdoberfläche, welche bedingt, dass der aufsteigende Luftstrom zu manchen Zeiten und an manchen Orten eine viel höhere Temperatur und einen weit grösseren Wasserdampfgehalt hat, als an anderen Orten. Ist der Wassergehalt einer solchen heissen aufsteigenden Luftmasse so gross, dass das Wasser zum Theil während des Aufganges ausgeschieden wird und als Regen niederfällt, so wird die in den oberen Schichten der Atmosphäre eingetroffene Luft durch die von ihr aufgenommene latente Wärme des Wasserdampfes noch weiter erwärmt und dadurch ihr Volumen und Auftrieb vergrössert, und das Endresultat muss eine relativ warme, verhältnissmässig wasserarme Luftschicht sein, die dann durch Ausdehnungsströmung über kältere, aber mehr Wasserdampf enthaltende und dadurch leichtere fortgeschoben wird[1]). Es sind dies leicht erklärliche Abweichungen von der Regel, dass Temperatur und Dichtigkeit der Atmosphäre mit steigender Höhe abnehmen, der Wassergehalt dagegen zunehmen muss. Letzteres muss wenigstens für höhere Breiten die Regel sein, da die in den Calmen continuirlich aufsteigenden warmen Luftmassen mit relativ grossem Wassergehalte zwar zum grossen Theile auf ihrem Wege zu höheren Breiten nach Verlust ihrer grösseren Wärme durch Ausstrahlung als niedergehende Ströme wieder zum Erdboden niedersinken, zum Theil jedoch als oberer Aequatorialstrom auch die hohen Breiten erreichen müssen. In diesem grösseren Wassergehalte der höheren Schichten der Atmosphäre ist der Grund zu suchen, warum auch bei niedergehenden Luftströmen Regenfälle eintreten können. Ist die Temperatur einer sehr wasserhaltigen oberen Strömung durch Strahlung bis unter den Sättigungspunkt des Dampfes abgekühlt, so bilden sich die Cirruswolken, die wahrscheinlich aus Eisnadeln bestehen[2]). Die dadurch frei werdende latente Dampf- und Wasser-

[1]) Krönig hat bereits den Nachweis geführt, dass der mit einem aufsteigenden Strome gemischte Wasserdampf durch seine Condensation keine Volumverminderung, sondern eine Volumvergrösserung herbeiführt, da die latente Wärme des Dampfes das Volumen der Luft weit mehr vergrössert, als das Volumen des condensirten Dampfes beträgt. Fortschr. d. Phys. Bd. 20, S. 626.

[2]) Es ist jedoch höchst wahrscheinlich, dass sowohl Wasser wie Dampf in den hohen Luftregionen ihren Aggregatzustand bis weit unter die Temperatur ihres Gefrier-, resp. Condensationspunktes beibehalten. Dass das Wasser ohne Gegen-

wärme wird diese Luftschichten wieder erwärmen und den Process der Bildung schwererer Schneewolken längere Zeit hinausziehen, ist er aber durch fortdauernden Wärmeverlust durch Ausstrahlung vollendet, so muss das Gewicht des keinen in Betracht kommenden Raum mehr ausfüllenden Eises das adiabatische Gleichgewicht stören, und ein Niedersinken der Wolkenmasse eintreten. Bei der dabei eintretenden Verdichtung und Erwärmung wird der Schnee wieder geschmolzen und die dazu nöthige latente Wärme der Luft wieder entzogen. Das adiabatische Gleichgewicht wird daher progressiv in noch höherem Masse gestört, und das Endresultat wird ein kalter niedergehender Luftstrom mit Regen sein. Die Dichtigkeit dieser langsam niedersinkenden Regenwolken wird aber nicht gross genug sein, um die Wolke elektrisch leitend zu machen, es wird mithin keine Elektricitätsbildung durch Vertheilung eintreten. Anders aber wird sich der Verlauf gestalten, wenn durch locale Ueberhitzung der dem Erdboden benachbarten Luftschichten ein localer Aufstrom mit Regenfall entsteht. Dann kann der Aufstrom eine Geschwindigkeit annehmen, die grösser ist, als die Fallgeschwindigkeit der gebildeten Wassertropfen in der widerstehenden Luft; diese werden daher in die höheren Regionen, deren Temperatur weit unter dem Eispunkte liegt, mit in die Höhe gewirbelt und werden zu Hagelkörnern gefrieren. Durch die schnelle Volumenvergrösserung und die ihr entsprechende seitliche Ausbreitung des beschleunigten Luftstromes werden die benachbarten relativ feuchten und kalten höheren Luftschichten in Wirbel mit horizontaler Drehaxe versetzt, die sich mit dem um eine senkrechte Axe rotirenden aufsteigenden Wirbel combiniren. Die heftige Wirbelbewegung, in welche das bisher ruhige, überkühlte Luftmeer hierdurch versetzt wird, wird in demselben nun eine plötzliche Wasser- und Eisbildung herbeiführen. Die Wirbel mit horizontaler Drehaxe können dabei einen grossen Durchmesser annehmen und die Eiskörner wiederholt in die Eisregion hinaufschleudern, bis sie zu schwer geworden sind und als Hagelkörner oder nach Durchlaufung tieferer warmer Luftschichten als kalte Regentropfen zu Boden fallen. Durch

wart von die Krystallisation einleitenden festen Körpern und ohne heftige Erschütterungen bis weit unter -20^0 abgekühlt werden kann, ohne zu gefrieren, steht fest. Dass Dampf in gleicher Weise die Dampfform unter seinem Condensationspunkte noch beibehalten kann, steht experimentell noch nicht fest. Wir kennen nur die Verzögerung des Siedepunktes, die so häufig zu Dampfkesselexplosionen Veranlassung giebt. Es ist jedenfalls nicht unwahrscheinlich, dass dieser Verzögerung des Siedens auch eine Verzögerung der Condensation gegenübersteht. Durch Versuche lässt sich dies nur schwer constatiren, da die Mittel fehlen, eine Dampfmasse ausser Berührung mit festen oder flüssigen Körpern abzukühlen. Es ist ohne diese Annahme nicht gut zu erklären, warum der Himmel nicht immer ganz mit Cirruswolken bedeckt ist — es müsste denn angenommen werden, dass flüssig gewordene Wassertheilchen in der grossen Verdünnung der höheren Luftschichten nicht als Wolken erscheinen.

diese in kurzer Zeit eintretende starke Regenbildung werden die Wassertheile der Wolkenstrasse bis zu den höchsten Luftschichten hin nun so dicht aneinander geführt, dass sie ein Leiter der Elektricität wird, mithin auch der elektrischen Vertheilung unterworfen ist. Ist sie an irgend einer Stelle in leitender Verbindung mit der Erde, so muss die Erdelektricität in sie einströmen, und sie erhält dann die gleiche Elektricität; ist sie es nicht, so wird sie in der Nähe der Erde ihr entgegengesetzt geladen, während die gleiche Elektricität durch die leitende Wirbelwolke in die höheren Regionen entweicht. Wo die Leitung der Wolke unvollständig ist, wird sie durch Blitze, welche zwischen den voneinander isolirten Wolkenschichten oder zwischen Wolke und Erde überspringen, vorübergehend hergestellt, und schliesslich wird beim Vorübergehen des Wirbelsturmes und der Auflösung der durch ihn gebildeten Wolke die ganze Elektricität durch Blitze sich mit der Erdelektricität wieder ausgleichen oder zum Theil zur Luft als Luftelektricität übergehen.

Manche Beobachtungen von Gewitterbildung sind von hohen Bergspitzen oder vom Luftballon aus gemacht, welche fast alle von mehrfachen Wolkenschichten übereinander sprachen, die in Verbindung mit einander standen, oder zwischen denen Blitze übersprangen. Die lehrreichste Beschreibung ist die des Herrn Wite[1]), der von einem Luftballon aus die Entstehung eines starken Gewitters beobachtete. „Er sah zwei Wolkenschichten etwa 2000 Fuss übereinander, von denen die obere Schnee, Regen und Hagel der unteren zusandte. Zwischen beiden bewegten sich geräuschlos gelbliche wellenähnliche Lichtmassen. Elektrische Entladungen mit Blitz und Donner ereigneten sich immer in der unteren Schicht, doch war das Gewitter über beiden Schichten weit stärker, als unter denselben. Die obere Schicht war durch Westwind in starker Bewegung.“ Dass der Beobachter nur zwei über einander befindliche Wolken beobachten konnte, ist erklärlich, da sein Ballon sich in der Höhe des Zwischenraumes beider befand. Es ist anzunehmen, dass noch mehrere solcher Wolkenschichten bis zu den höchsten Luftregionen hinauf vorhanden gewesen sind, zwischen denen der beobachtete Niederschlag und der elektrische Leitungsvorgang stattfand. Durch den namentlich aus der Mitte der oberen Wolkenschicht niederströmenden starken Regen wurden die Wolkenschichten leitend mit einander verbunden und unterlagen dadurch dem elektrischen Leitungs- und Vertheilungsvorgange.

Es könnte der Theorie des elektrischen Sonnenpotentials noch der Einwand entgegengestellt werden, dass die elektrische Anziehung zwischen der Sonne und den Planeten und die Abstossung, welche letztere aufeinander und auf ihre Trabanten ausüben müssten, die

[1]) Fortschr. d. Phys. 1852, S. 762.

Grundlage der astronomischen Rechnungen modificiren würde, da neben der Gravitation dann noch eine weitere Kraft, die elektrische, in Rechnung zu ziehen sei.

Dieser Einwand ist vollkommen berechtigt. Da aber die elektrische Kraft ebenso, wie die Gravitation, im Verhältniss der Quadrate des Abstandes der Mittelpunkte steht, so würden die Bahnen der Planeten unverändert bleiben, wenn ein Theil der Gravitationsanziehung durch eine elektrische ersetzt wird. Nur das berechnete Verhältniss der Massen der Sonne und der Planeten zu der der Erde würde sich ändern. Diese Aenderungen müssten namentlich bei den kleinen Planeten und den Trabanten bemerklich werden, da die elektrische Kraft eine Oberflächenfunction ist. Dagegen müssen die störenden Einflüsse, welche die Planeten und deren Trabanten gegenseitig auf ihre Bahnen ausüben, sich ändern, wenn die Gravitation durch elektrische Abstossung vermindert wird.

Vielleicht ist es der Astronomie vorbehalten, aus den Störungen der Bahnen des Merkurs, der Asteroiden und der Trabanten den Beweis der Existenz oder Nichtexistenz eines elektrischen Sonnenpotentials zu führen.

Ich bin nach Lesung dieser Abhandlung von befreundeter Seite darauf aufmerksam gemacht worden, dass ich versäumt habe, auf den merkwürdigen Zusammenhang der Sonnenfleckenperiode mit der der magnetischen Störungen der Erdströme und der Nord- und Südlichter näher einzugehen. In der That bildet dieser Zusammenhang einen gewichtigen Beweis der Existenz des elektrischen Sonnenpotentials. Sind die Sonnenflecken, wie ich auseinandergesetzt habe, als zum Sonnenkörper zurückkehrende Strömungen der in der leuchtenden Sonnenatmosphäre verbrannten Sonnenbestandtheile anzusehen, die deswegen in mittleren Sonnenbreiten als Sonnenflecken sichtbar werden, weil dort die Bedingungen für die Wirbelbildung vorhanden sind, so muss die Zahl der Sonnenflecken auch ein Mass der Grösse der Verbrennungsthätigkeit sein. Die zehn- bis elfjährige Periode der Sonnenflecken würde demnach besagen, dass die Verbrennungsthätigkeit alle zehn bis elf Jahre eine Steigerung erführe, die darauf allmählich auf ihr früheres Mass zurückginge. Da mit der Steigerung der Verbrennungsthätigkeit auch ein verstärkter Abfluss elektrisirter Materie von der Sonne und dadurch indirect eine Vergrösserung des elektrischen Sonnenpotentials eintreten müsste, so ist der Zusammenhang der Sonnenflecke mit der Erscheinung der Nord- und Südlichter, der Erdströme und der magnetischen Störungen gegeben. Der Grund dieser zehn- bis elfjährigen Sonnenfleckenperiode lässt sich nur in Strömungen oder partiellen Revolutionen des gasförmigen Sonnenkörpers selbst suchen. In der That müssen solche Revolutionen mit Nothwendigkeit von Zeit zu Zeit ein-

treten, da durch Wärme- und Lichtstrahlung die oberen Schichten des Sonnenkörpers abgekühlt werden. Diese Abkühlung wird durch die niedergehenden Strömungen der Verbrennungsproducte vermittelt, welche bis zu einer beträchtlichen Tiefe in die noch dissociirte Gasmasse der Sonne eindringen und durch Mischung mit dieser den durch Dissociation erlittenen Wärmeverlust zum Theil wieder ersetzen. Die Folge wird sein, dass die äusseren Sonnenschichten unter die ihnen zukommende adiabatische Temperatur abgekühlt werden, dass also aus dem indifferenten ein labiles Gleichgewicht entsteht, welches sich längere Zeit in ähnlicher Weise erhalten kann, wie überhitzte Luft über Erdstrecken, die durch Sonnenstrahlung stark erwärmt sind. Hat diese Störung des adiabatischen Gleichgewichtes aber eine gewisse Grenze überschritten, so muss ein Umschwung in der Sonnenmasse eintreten. Die relativ kälter gewordenen äusseren Sonnenschichten müssen in die Sonnentiefe hinabsinken und die relativ heisseren und leichteren tieferen Schichten müssen ihre Stelle einnehmen. Erfahrungsmässig findet ein solcher Umschwung alle zehn bis elf Jahre statt. Mit ihm gelangt wieder unabgekühlte heissere Sonnenmasse zur Verbrennung; diese wird mithin verstärkt, was eine Vermehrung der sichtbaren wirbelnden Rückströmungen, der Sonnenflecke, und indirect Schwankungen in der Grösse des elektrischen Sonnenpotentials zur Folge hat.

Ich muss schliesslich noch bemerken, dass viele der in meiner Abhandlung enthaltenen Anschauungen bereits anderweitig publicirt sind und von mir nicht als die meinigen beansprucht werden. Ich nenne hier namentlich die Schriften von Ritter über die Constitution gasförmiger Weltkörper, und das Buch von Reye über Wirbelstürme. Es war mir aber unmöglich, in dem beschränkten Raume dieser Mittheilung die Autorschaft jedes von mir benutzten Gedankens auf seine Urquelle zurückzuführen.

Beiträge zur Theorie des Magnetismus.

(Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. v. 23. Oct.)

1884.

Seit die zweckmässige Construction elektromagnetischer Maschinen eine grosse praktische Bedeutung erlangt hat, tritt die Frage in den verschiedensten Gestalten auf, wie die Massen- und Formverhältnisse der Elektromagnete zu wählen sind, um mit dem geringsten Material und Raumaufwande die grösste Wirkung zu erzielen. Zur Beantwortung dieser Fragen geben die aufgestellten scharfsinnigen und mit grösstem Aufwande mathematischer Kenntniss und Gewandtheit durchgearbeiteten Theorien nur selten die erforderliche Anleitung. Es hat dies wohl darin seinen Grund, dass die Hervorrufung und Vertheilung des Magnetismus in den magnetischen Körpern, von denen praktisch nur das Eisen in seinen verschiedenen Molecularzuständen in Betracht kommt, ferner die Fernwirkung des vorhandenen Magnetismus und die mit ihr zusammenhängende Stärke des magnetischen Feldes und schliesslich die Rückwirkung der letzteren auf die Stärke des im Eisen erzeugten Magnetismus und seine Vertheilung in der Regel getrennt voneinander der Betrachtung und Rechnung unterworfen werden. Wenn hierdurch auch die Grundlagen für die Lösung vieler gestellter Fragen gegeben sind, so steht der Techniker doch einer verwirrenden Menge von Gesetzen und empirischen Formeln gegenüber, die es ihm unmöglich macht, sich ein klares Gesammtbild über den ursächlichen Zusammenhang der Erscheinungen zu machen, das ihm als Leitfaden bei seinen Constructionen dienen könnte. Es mag dieser unbefriedigende Zustand daher stammen, dass man bei allen magnetischen Theorien vom permanenten Magnetismus ausgegangen ist, in ähnlicher Weise, wie die elektrischen Theorien auf die zuerst bekannten elektrostatischen Erscheinungen begründet wurden. Der permanente Magnetismus ist aber nur eine secundäre magnetische Erscheinung. Er ist ein Rückstand einer vorhergegangenen stärkeren Magnetisirung, dessen Gesetze erst

aus denen des Elektromagnetismus abzuleiten sind, da der Magnetismus überhaupt nur als eine elektrische Erscheinung aufzufassen ist. Der elektrische Strom, oder allgemeiner Elektricität in Bewegung, ist die einzige bekannte Quelle jedes Magnetismus. Dass dies auch von dem Erdmagnetismus gelten muss, habe ich schon bei einer anderen Veranlassung an dieser Stelle ausgesprochen und es damit motivirt, dass wenigstens bisher keine andere Ursache desselben denkbar ist, als die Rotation der auf der Erdoberfläche angehäuften ruhenden Elektricität mit derselben um die Erdaxe. Der Magneteisenstein und andere im magnetischen Zustande in der Natur vorkommende Körper verdanken ihrerseits ihren Magnetismus offenbar dem Erdmagnetismus oder in einzelnen Fällen wohl der directen Wirkung elektrischer Entladungen.

Geht man dagegen von der Annahme eines durch elektrische Ströme direct oder indirect magnetisirbaren Körpers aus, der keinen Magnetismus zurückbehält, wenn die Ursache der Magnetisirung aufhört, und nimmt man mit Faraday an, dass auch die Fortpflanzung der magnetischen Wirkung, sowohl in den magnetischen Körpern selbst, wie in dem sie umgebenden Raume, nur von Molecül zu Molecül, oder von Raumelement zu Raumelement geschehen kann, so liegt die weitere Annahme nahe, dass beide Wirkungen, die innere und äussere, in voller Abhängigkeit voneinander stehen müssen. Es kann dann in einer von einem elektrischen Strome umkreisten Eisenstange durch die auf sie wirkende elektrische Vertheilungskraft nur so viel Magnetismus erzeugt werden, wie in dem die Eisenstange umgebenden Raume durch die in der Richtung der Faraday'schen Kraftlinien von dem nordmagnetischen zu den südmagnetischen Flächentheilchen des Stabes fortschreitende magnetische Vertheilung gebunden und dadurch als magnetischer in sich geschlossener Kreis angeordnet wird.

Wenn sich diese Auffassung durch das Experiment als zulässig erweist, so müssen die Gesetze für moleculare Mittheilung von Wärme, Elektricität und elektrostatische Vertheilung unter den nothwendigen Modificationen auch auf den Magnetismus anwendbar sein. Wir würden dann auch für die Stärke des Magnetismus ein allgemeines Gesetz von der Form:

> „Summe der magnetisirenden Kräfte dividirt durch Summe der ihnen entgegenstehenden Widerstände“

aufstellen können, welches viele Schwierigkeiten und scheinbare Widersprüche beseitigen würde. Es müsste dann auch das weitere Gesetz gelten, dass

> „in jeder Schnittfläche, welche alle vorhandenen Kraftlinien durchschneidet, die Summe der magnetischen Momente aller durchschnittenen magnetischen Molecüle = 0“

wäre. Eine solche Schnittfläche kann nur durch die neutrale, Süd- und

Nordmagnetismus scheidende, magnetische Mitte des magnetisirten Körpers gelegt werden, und es muss dann die Summe der magnetischen Momente der durchschnittenen Eisenmolecüle ebenso gross sein, wie die der ausserhalb des Eisens durchschnittenen Molecüle oder Raumelemente.

Die Reihenfolge der elektrischen Erscheinungen würde dann die sein, dass eine zwischen zwei im isolirenden Medium befindlichen Körpern auftretende elektrische Potentialdifferenz auf der Oberfläche derselben eine Ansammlung ruhender Elektricität entgegengesetzter Polarität hervorruft, deren Grösse von dem Widerstande abhängt, den die nicht leitende umgebende Materie der elektrischen Vertheilung entgegensetzt. Dieser Widerstand ist abhängig von den Raumverhältnissen und einem der ihn ausfüllenden Materie eigenthümlichen Vertheilungscoëfficienten. Ist der trennende Raum nicht isolirend, sondern ganz oder theilweise ein Leiter der Elektricität, so entsteht der elektrische Strom, dessen Stärke wiederum von der der Fortbewegung der Elektricität entgegenstehenden Summe der Widerstände abhängt. Der elektrische Strom oder die Elektricität in Bewegung hat ihrerseits die Eigenschaft, gleichgerichtete Ströme, beziehungsweise die Träger derselben, anzuziehen, entgegengerichtete abzustossen. Nimmt man mit Ampère an, dass die magnetische Materie mit präexistirenden Molecularströmen erfüllt ist, so muss der elektrische Strom diese Elementar-Solenoïde aus ihrer Gleichgewichtslage so zu drehen bestrebt sein, dass ihre Axen in die Peripherie von Kreisen fallen, die die Stromträger concentrisch umgeben. Ist bei einer Materie, wie z. B. beim Eisen, in der Raumeinheit eine grössere Zahl solcher Kreisströme enthalten, so muss auch die Stromarbeit eine grössere sein, da eine grössere Anzahl von Solenoïden, auf welche der Strom drehend einwirkt, in jedem Querschnitt des concentrischen Ringes enthalten ist. Da aber auch die verstärkende Wirkung, welche die aufeinander folgenden Querschnitte, des geringeren Abstandes der Elementarsolenoïde voneinander wegen, aufeinander ausüben müssen, jetzt grösser ist, so muss aus beiden Gründen die Summe der Momente eines concentrischen Ringes aus Eisen grösser sein, als die eines Raumringes von gleichen Abmessungen, der mit einer weniger magnetischen Materie erfüllt ist. Man kann dies auch so ausdrücken, dass das Eisen und die übrigen sogenannten magnetischen Körper der magnetischen Polarisation einen geringeren Widerstand entgegensetzen, wie die nichtmagnetischen Körper, oder dass ihre magnetische Leitungsfähigkeit eine grössere ist. Eine magnetische Fernwirkung kann bei Ringen aus homogenem Material, welche einen Stromleiter concentrisch umgeben, nicht auftreten, da alle Kraftlinien innerhalb des Ringes verlaufen. Bei einem nicht in sich geschlossenen Eisenringe ändert sich dies Verhältniss. Da der magnetische Vertheilungswiderstand des Eisens, wie sich aus später be-

schriebenen Versuchen ergiebt, nur etwa $^1/_{500}$ desjenigen der Luft ist, so muss bei einem unterbrochenen Ringe der Gesammtmagnetismus, dem hinzugetretenen grossen Vertheilungswiderstande des lufterfüllten Raumes der Unterbrechungsstelle entsprechend, kleiner werden, und es müssen die die Ringtheile verbindenden Vertheilungs- oder Kraftlinien in sehr verschiedener Stärke den ganzen umgebenden Raum erfüllen und in ihm die Erscheinung der magnetischen Anziehung und Vertheilung oder die des sogenannten freien Magnetismus hervorbringen.

Es würde hiernach die Ampère'sche Theorie dahin zu erweitern sein, dass nicht nur die magnetischen, sondern alle Körper, sowie auch der leere Raum mit präexistirenden Kreisströmen von sehr kleinen Dimensionen erfüllt sind, und dass sich die magnetischen von den nichtmagnetischen Körpern nur dadurch unterscheiden, dass in den ersteren die Zahl der in der Raumeinheit vorhandenen Kreisströme eine weit grössere ist, wie in den letzteren.

Alle magnetischen Erscheinungen würden sich dann auf die Eigenschaft des elektrischen Stromes zurückführen lassen, auf die im ganzen Raume verbreiteten, in den sogenannten magnetischen Körpern in grösserer Anzahl vorhandenen Molecularsolenoïde eine Richtkraft auszuüben, die deren Axen senkrecht auf seine Richtung zu stellen und sie dadurch in in sich geschlossene concentrische Anziehungskreise zu ordnen sucht. Die Grösse dieser Axendrehung hängt einmal von der Stärke der richtenden oder magnetisirenden Kraft und andererseits von der in der Volumeneinheit präexistirenden Anzahl der molecularen Kreisströme ab, für welches Zahlenverhältniss man den Ausdruck „magnetische Leitungsfähigkeit“, oder als deren reciproken Werth „magnetischer Vertheilungswiderstand“ einführen kann.

Zur Prüfung der Zulässigkeit dieser Anschauung schien mir zunächst der vielfach experimentell und theoretisch untersuchte Fall des in sich geschlossenen gleichmässig mit isolirtem Draht umwundenen Eisenringes oder der Eisenröhre besonders geeignet, da bei denselben nach G. Kirchhoff's Untersuchung bei gleichmässiger Umwindung keine magnetische Fernwirkung auftritt. Für den Magnetismus eines Eisenrohres von der Wandstärke s, das von einem axialen Strome durchlaufen wird, habe ich früher[1]) den Werth:

$$M = 4\pi . l . s . i$$

aus den Ampère'schen Formeln abgeleitet, wobei s die Metallstärke, l die Länge des Rohres, i die Stromstärke bezeichnet, und durch Versuche die Richtigkeit derselben nachgewiesen.

Wenn man einen Eisenring vom Querschnitt q und dem mittleren Radius ϱ mit einer eng gewundenen Spirale umgiebt, so ist nach obigen

[1]) Sitzungsber. d. Berl. Akad. v. 23. Juni 1881, S. 701.

Betrachtungen die magnetisirende Kraft proportional der Stromstärke i multiplicirt mit der Zahl der Windungen, für welche man annähernd die Länge des Ringes, also $2\varrho\pi$ setzen kann. Der sich dieser magnetisirenden Kraft entgegensetzende Widerstand ist direct proportional der Länge des gebogenen Eisenstabes, also wiederum $= 2\pi\varrho$, und umgekehrt proportional dem Querschnitt und der magnetischen Leitungsfähigkeit des Eisens, die mit ψ bezeichnet werden mag. Es wird also das magnetische Moment des Eisenringes in jedem seiner Querschnitte:

$$\frac{i \cdot 2\varrho\pi}{\frac{2 \cdot \varrho\pi}{q \cdot \psi}} = i \cdot q \cdot \psi \cdot \text{const.}$$

sein, welcher Ausdruck mit dem obigen $M = i \cdot l \cdot s \cdot \text{const.}$ gleichbedeutend ist.

Zur Untersuchung der entscheidenden Frage, ob auch der Magnetismus, welcher durch eine magnetisirende Kraft in einem Eisenstabe oder einem offenen Hufeisen zur Entwickelung kommt, umgekehrt proportional dem gesammten Widerstande des magnetischen Schliessungskreises ist, liess ich zunächst ein Hufeisen aus einem 20 mm dicken Eisenstabe mit rechtwinkligen Umbiegungen herstellen. Die Schenkel des Hufeisens waren 70 mm lang, und jeder wurde mit einer Spirale von 35 mm Länge aus 126, resp. 130 Windungen 1 mm dicken isolirten Drahtes umwickelt. Der gerade Rücken des Hufeisens wurde mit einer Inductionsspirale aus 1160 Windungen 0,2 mm dicken Drahtes versehen. Durch ein prismatisches Eisenstück von dem Querschnitte des Hufeisens konnte dasselbe metallisch kurz geschlossen werden. Die Schenkel des Magnets ragten 20 mm aus den Windungen hervor.

Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass die Richtung des durch die Magnetisirungsspiralen gehenden Stromes mittelst eines passenden Commutators momentan umgekehrt wurde. Die Stromstärke wurde vor jeder Umkehr dadurch gemessen, dass vermittelst eines Torsionsgalvanometers mit sehr viel Windungen dünnen Drahtes die Spannungsdifferenz zwischen den Endklemmen der Magnetisirungsspirale bestimmt wurde. Durch Einschaltung von Widerständen, resp. durch einen angebrachten Nebenschluss, konnte man die jedesmal gewünschte Stromstärke herbeiführen. Der bei dem Stromwechsel in der Inductionsspirale entstehende Strom ward durch die Windungen eines nahe aperiodisch schwingenden Spiegelgalvanometers geführt. Der Ausschlag bildete dann das Mass des doppelten magnetischen Momentes, das durch den wirksamen Strom im Magnet hervorgerufen wurde. Wenn man die Vorsicht gebrauchte, nach jeder Veränderung der Stromstärke einige Stromwechsel vorzunehmen, bevor man die Messung ausführte, so erhielt man stets übereinstimmende Resultate auch bei den grössten Stromdifferenzen.

Tabelle I.

	1.		2.		3.		4.	
	Schenkel 90 mm hoch.				Schenkel 70 mm hoch.			
	Geschlossen durch Ankerplatte		Offen		Geschlossen durch Ankerplatte		Offen	
Ampères		Zunahme pro 1/100 Amp.		Zunahme pro 1/100 Amp.		Zunahme pro 1/100 Amp.		Zunahme pro 1/100 Amp.
0,01	800	800	195	195	1095	1095	140	140
0,03	3150	1175	650	227	4800	1852	430	145
0,05	6250	1550	1125	237	10500	2850	750	160
0,07	10500	2125	1640	257	20500	5000	1100	175
0,09	15500	2500	2165	262	33000	6200	1410	155
0,1	18350	2850	2400	235	36200	3200	1570	160
0,15	37000	3730	3700	260	—	—	2390	164
0,2	—	—	4830	226	—	—	3100	142
0,25	—	—	6000	234	—	—	3900	160
0,3	—	—	7100	220	—	—	4700	160
0,4	—	—	9600	250	—	—	6200	150
0,5	—	—	12250	265	—	—	7900	170

Die vorstehende Tabelle giebt in der ersten Verticalspalte die gemessene Stromstärke, in der ersten Spalte jeder folgenden Reihe die zugehörigen Ausschläge, in der zweiten die daraus berechneten Zunahmen des magnetischen Momentes für die Vermehrung der Stromstärke um 0,01 Amp., und zwar für geschlossenen und geöffneten Zustand. Es ergiebt sich, dass im geschlossenen Hufeisen der Magnetismus anfangs in schnellerer Progression wächst, als die Stromstärke. Beim offenen Magnet ist der Magnetismus bei schwachen Strömen (0,05 Amp.) etwa $^1/_5$ des durch gleiche magnetisirende Kräfte hervorgerufenen Magnetismus des geschlossenen Magnets, bei der doppelten Stromstärke (0,1 Amp.) ca. $^1/_8$. Die Zunahme des Magnetismus ist dagegen bei offenem Magnet nahe constant, d. i. der Magnetismus war nahe proportional der Stromstärke bis zu der Grenze, welche zu erreichen die Drahtwindungen ohne zu grosse Erhitzung gestatteten.

Ich liess darauf die aus den Drahtrollen 20 mm hervorragenden Polenden der Elektromagnete abschneiden und wiederholte die obigen Versuche. Wie sich aus der dritten und vierten Columne der obigen Tabelle ergiebt, vermehrt sich durch diese Verkürzung der Magnetismus des geschlossenen Magnets beträchtlich, wogegen der Magnetismus des ungeschlossenen Magnets in noch höherem Grade abnimmt, so dass jetzt bei 0,05 Amp. das obige Verhältniss sich auf $^1/_{14}$, bei 0,1 auf $^1/_{23}$ vermindert. Diese unverhältnissmässig grosse Verminderung ist offenbar dem Umstande zuzuschreiben, dass nicht nur der Vertheilungswiderstand des umgebenden Raumes durch die Verkürzung vergrössert, sondern auch die magnetisirende Kraft verringert wurde, da die Drahtrollen auch auf die nun abgeschnittenen Stücke eine magne-

tisirende Kraft ausgeübt hatten. Ich suchte darauf durch Aufsatz von Verlängerungsstücken gleichen Durchmessers und von 10 mm Höhe auf die Polenden diejenige Schenkellänge zu ermitteln, bei welcher der Magnetismus des offenen Magnets sich bei gleichbleibender Stromstärke verdoppelte. Es ist dies Verhältniss nach der nachstehenden Tabelle schon bei fünf Aufsatzstücken überschritten, also bei einer

Tabelle II.

Strom 0,1 Amp.

	Magnetismus	Zuwachs
Ohne Aufsatz	1950	—
1. Stück auf jeder Seite .	2430	480
2. „ „ „ „	2895	465
3. „ „ „ „	3330	435
4. „ „ „ „	3750	420
5. „ „ „ „	4125	375

Vergrösserung der ursprünglichen Magnetlänge um etwas über die Hälfte (Tabelle II). Wie sich aus der Zunahme des Magnetismus für jede Verlängerung der Magnetschenkel 10 mm ergiebt, findet eine ziemlich beträchtliche Verminderung dieses Zuwachses mit der Zahl der Aufsatzstücke statt. Es ist dies zum Theil ebenfalls die Folge der stärkeren directen Spiralenwirkung auf die den Spiralen näher liegenden Ansatzstücke, wodurch sich auch die zu schnelle Verdoppelung des Magnetismus bei Verlängerung der Schenkel erklärt. Jedenfalls machen diese Versuche es aber schon höchst wahrscheinlich, dass der in einem ungeschlossenen Elektromagnete durch eine magnetisirende Kraft hervorgerufene Magnetismus eine Function seiner Oberfläche ist. Letzteres wurde auch dadurch bestätigt, dass die Verstärkung des Magnetismus durch aufgesetzte dünnwandige Eisenröhren genau so gross war, wie die durch aufgesetzte, gleich hohe massive Eisencylinder von gleichem Durchmesser. Die Schliessung der aufgesetzten Röhren durch einen Eisendeckel machte keinen bemerkbaren Unterschied, wenn keine Verlängerung des Rohres dadurch bewirkt wurde.

Zur Bestimmung des vom nichtmagnetischen umgebenden Raume der Entwickelung des Magnetismus im Eisen entgegengesetzten Widerstandes war es nöthig, den magnetischen Vertheilungswiderstand des lufterfüllten oder leeren Raumes mit dem des Eisens zu vergleichen. Es kann dies Verhältniss kein constantes sein, da der specifische magnetische Vertheilungswiderstand des Eisens sich mit der Stärke seiner Magnetisirung ändert.

Wie bekannt und auch aus den obigen Versuchen ersichtlich, nimmt in einem in sich geschlossenen Elektromagnete der Magnetismus anfänglich schneller zu, wie die Stromstärke. Die Zunahme des Magne-

tismus erreicht dann bald ein Maximum und sinkt bei weiterer Steigerung der Stromstärke langsam bis auf einen sehr geringen Betrag hinab. Besonders auffallend ist bei diesem Verhalten der magnetischen Körper die anfängliche Verstärkung der Wirkung der magnetisirenden Kraft bis zu einem Maximum. Die Lage dieses Maximums ist abhängig von der Beschaffenheit des Eisens. Bei weichem Eisen tritt das Maximum bei gleicher Zunahme der magnetisirenden Kraft früher ein wie bei härterem. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass diese anfängliche schwächere Wirkung der magnetisirenden Kraft überhaupt nur eine Folge der unvollkommenen Weichheit des Eisens ist. Um dies näher zu untersuchen, liess ich zwei gleiche Ringe, einen aus möglichst weichem Rundeisen und den anderen aus weichem Stahl herstellen. Dieselben hatten 50 mm äusseren und 35 mm inneren Durchmesser und waren gleichmässig mit je zwei Spiralen, die untere aus 350 Windungen 0,2 mm dicken Drahtes, die obere aus 190 Windungen 0,75 mm dicken Drahtes umwickelt. Die zweite Spirale diente als Magnetisirungs-, die erste als Inductionsspirale. Die erste Verticalspalte der Tabelle III

Tabelle III.

Stromstärke	Ausschlag	Zunahme pro 1/1000 Amp.	Ausschlag	Zunahme pro 1/1000 Amp.	Stromstärke	Ausschlag	Zunahme pro 1/1000 Amp.	Ausschlag	Zunahme pro 1/1000 Amp.
0,001	3,2	3,2	3,5	3,5	0,100	1810	65	430	5,0
0,002	7	3,25	7,2	3,7	0,15	4520	54	760	6,6
0,004	15	4	15	3,4	0,2	6880	47,2	1120	7,2
0,008	36	5,2	29	3,5	0,25	8640	35,2	1640	10,4
0,01	46	5	35	3,0	0,3	9900	25,2	2500	17,2
0,02	114	6,8	72	3,7	0,4	11500	16	4950	24,5
0,03	196	8,1	112	4,0	0,5	12400	9	7000	30,5
0,04	300	10,5	155	4,3	0,6	13150	7,5	8750	17,5
0,05	410	11	195	4,0	0,7	13750	6	10000	12,5
0,06	550	14	245	5,0	0,8	14250	5	11000	10,0
0,07	710	16	290	4,5	0,9	14600	3,5	11900	9,0
0,08	895	18,5	340	5,0	1,00	15000	4	12550	6,5
0,085	1015	24	360	4,0	1,1	15250	2,5	13150	6,0
0,090	1160	29	380	4,0	1,2	15500	2,5	13600	4,5
0,095	–		405	5,0	1,5	16150	2,1	15000	4,6

giebt die gemessenen Stromstärken, die zweite die zugehörigen durch den Ausschlag des Spiegelgalvanometers gemessenen magnetischen Momente des Eisenringes, die dritte die hieraus berechnete Zunahme des Magnetismus durch eine Vermehrung der Stromstärke um 0,001 Amp. Die vierte und fünfte Spalte geben dieselben Werthe für den Stahlring. Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, dass beim Eisenring das Maximum der Zunahme des Magnetismus schon bei 0,1 Amp. eingetreten war, während er beim weichen Stahlringe erst bei 0,5 Amp. eintrat, und ferner, dass dies letztere Maximum nur etwa den halben Betrag des

Maximums der Zunahme beim Eisenringe hatte. Da die Stromrichtung bei jeder Messung umgekehrt wurde, so konnte der rückbleibende Magnetismus keinen directen Einfluss auf das Messungsresultat ausüben, wohl aber muss die innere Reibung, welche sich der Drehung der hypothetischen Kreisströme entgegenstellt, eine Verminderung der Magnetisirung herbeiführen, die beim Ringe aus weichem Stahl kleiner ausfallen musste, wie beim Eisenringe. Es erscheint hiernach durchaus wahrscheinlich, dass bei absolut weichem Eisen das Maximum der Wirkung schon bei den schwächsten Strömen eintreten würde. Man kann also diese beim Eisenmagnetismus auftretende Anomalie als eine Folge des Reibungswiderstandes betrachten, welcher sich der Drehung der Ampère'schen Kreisströme entgegenstellt. Dieser Widerstand muss sich um so stärker bemerkbar machen, je kleiner die Drehungswinkel sind, da die Reibungsarbeit dem Drehungswinkel selbst und nicht dem durch die Drehung hervorgerufenen magnetischen Momente proportional sein muss.

Die folgende Tabelle IV giebt die Resultate, die erhalten wurden, wenn anstatt eines geschlossenen Ringes eine gleich dicke und lange gerade Eisenstange der Magnetisirung durch steigende Stromstärken

Tabelle IV.

Stromstärke	Ausschlag	Zunahme pro 1/1000 Amp.	Stromstärke	Ausschlag	Zunahme pro 1/1000 Amp.
0,001	12	12	0,08	1160	16
0,002	22	10	0,09	1320	16
0,004	44	11	0,10	1480	16
0,008	88	11	0,20	2900	14,2
0,01	109	10,5	0,30	4600	17
0,02	233	12,4	0,40	6240	16,4
0,03	365	13,2	0,50	8000	17,6
0,04	524	15,9	0,60	9720	17,2
0,05	688	16,4	0,70	11560	18,4
0,06	844	15,6	0,80	13200	16,4
0,07	1000	15,6	1,00	16800	18

unterworfen wurde. Die Eisenstange war in der Mitte mit einer Inductionsspirale versehen und wurde mit dieser in die Mitte einer Magnetisirungsspirale von nahe doppelter Länge geschoben. Bei den Ausschlägen des Spiegelgalvanometers ist die directe Wirkung der Spiralen aufeinander in Abzug gebracht. Die für 0,001 Amp. berechneten Zuwachse des Magnetismus zeigen auch hier ein geringes Anwachsen bei wachsender Stromstärke. Das Maximum der Zunahme konnte nicht erreicht werden, ohne die Magnetisirungsspirale übermässig zu erhitzen.

Wenn die Annahme, dass die nichtmagnetische Materie in gleicher

Weise wie die magnetische mit präexistirenden molecularen Kreisströmen erfüllt ist, richtig ist, so ist anzunehmen, dass bei ihr, ebenso wie bei den magnetischen Körpern, ein Maximum des Magnetismus vorhanden ist. Es müsste dann bei sehr grossen magnetischen Momenten eines magnetischen Feldes, ebenso wie beim Eisen, eine Annäherung an ein Maximum der Magnetisirung bemerkbar werden. Um dies zu untersuchen, setzte ich auf die Polköpfe der beschriebenen Hufeisenmagnete zwei prismatische Eisenstücke, welche einander bis auf eine geringe Entfernung genähert werden konnten. Die sich parallel gegenüberstehenden Flächen waren bis auf 1 qcm verjüngt. Es wurde nun die Zunahme des magnetischen Moments des magnetischen Kreises bei steigender Stromstärke gemessen. Die Resultate sind in der nachfolgenden Tabelle V zusammengestellt.

Tabelle V.

Strom-intensität	Hufeisen geschlossen durch Eisenplatte		Polstücke mit prismatischen Ansatzstücken versehen. Abstand der letzteren:					
	Ausschlag	Zunahme pro 1/100 Amp.	0,1 mm Ausschlag	0,1 mm Zunahme pro 1/100 Amp.	1 mm Ausschlag	1 mm Zunahme pro 1/100 Amp.	3,5 mm Ausschlag	3,5 mm Zunahme pro 1/100 Amp.
	1		2		3		4	
0,11	219	19,9	80	7,2	49	4,4	37	3,4
0,21	720	50,1	193	11,3	107	5,8	78	4,1
0,53	1708	30,9	620	13,3	313	6,4	217	4,3
0,85	2124	13,0	1020	12,5	524	6,6	362	4,5
1,06	2292	8,0	1276	12,2	680	7,4	460	4,7
2,12	2640	3,3	2028	7,1	1344	6,3	942	4,5
3,18	2760	1,1	2400	3,5	1908	5,3	1380	4,1
4,24	2840	0,7	2620	2,1	2340	4,1	1820	4,2
5,30	2870	0,5	2728	1,0	2576	2,2	2172	3,3
6,36	2930	0,4	2800	0,7	2700	1,2	2440	2,5

Die Polstücke waren nacheinander 0,1, 1 und 3,5 mm voneinander entfernt. Die Stromstärken wurden bis zu dem grössten zulässigen Werth, d. i. bis zu 6 Amp. gesteigert. Wie sich aus Verticalspalte 1 ergiebt, trat bei kurz geschlossenem Magnete das Maximum der Zunahme des Magnetismus bereits bei 0,2 Amp. ein. Auffallend war es, dass mit aufgesetzten und einander genäherten Polstücken der Wendepunkt der Zunahme bei jedem Abstande auf dieselbe Stromstärke von ca. 1 Amp. fiel. Die Zunahmen selbst konnten nicht im Verhältniss des Abstandes der parallelen Eisenflächen stehen, da die Seitenflächen der Ansatzstücke um so mehr in magnetische Wechselwirkung treten mussten, je weiter die parallelen Flächen selbst voneinander entfernt waren, je grösser also der zwischen ihnen auftretende magnetische Vertheilungswiderstand war. Dass bei allen Abständen ein Maximum der Zunahme eintrat und diese sich bei steigenden Stromstärken dann gleichmässig

auf einen geringen Betrag reducirte, ist Folge des grossen Momentes des Elektromagnets selbst, welcher sich bei dem geringen magnetischen Widerstande des gesammten Kreises bei stärkeren Strömen schon seiner Maximalmagnetisirung näherte.

Die Versuche schienen zwar für eine Vergrösserung des Vertheilungswiderstandes der nichtmagnetischen Materie bei sehr hohen magnetischen Momenten zu sprechen, doch sind sie nicht entscheidend. Es müssten für solche Versuche Elektromagnete von geringer Länge und so grossem Querschnitte verwandt werden, dass der Vertheilungswiderstand des Eisens im Vergleich zu dem des umgebenden Mediums immer sehr klein bliebe.

Die Versuche zeigen aber, dass ein Magnetisirungsmaximum bei atmosphärischer Luft wenigstens nicht früher eintreten kann, als beim Eisen. Es folgt daraus, dass die Stärke eines magnetischen Feldes nur durch das Maximum des Eisenmagnetismus begrenzt ist, und dass man die magnetische Leitungsfähigkeit der nichtmagnetischen Materie als constant anzunehmen hat. Da dieser Werth für das Eisen ein sehr veränderlicher ist, und für die Abhängigkeit desselben vom vorhandenen magnetischen Momente der Eisenmasse noch kein Gesetz gefunden ist, so kann von einem Vergleiche der magnetischen Leitungsfähigkeit beider im allgemeinen nicht die Rede sein. Da indess bei der Construction magnetischer Maschinen fast immer derjenige magnetische Zustand des Eisens von besonderer Bedeutung ist, bei welchem die Zunahme des Magnetismus bei wachsender magnetisirender Kraft ein Maximum ist, so kann man diesen Zustand der Vergleichung zu Grunde legen.

Zur Ermittelung dieses Verhältnisses liess ich zwei quadratische Eisenplatten von 4 mm Dicke und 80 mm Seitenlänge anfertigen, welche an die prismatischen verschiebbaren Aufsatzstücke der Pole des früher beschriebenen Hufeisenmagnets seitlich angeschraubt werden konnten. Bei 5 mm Abstand voneinander gaben die Platten bei einer Stromstärke von 0,1 Amp. dieselbe Verstärkung des Magnetismus, wie ein Eisenblech von 1 qmm Querschnitt, welches nach Abschraubung der Platten die ebenfalls 5 mm voneinander abstehenden Polstücke miteinander verband. Bei schwächeren magnetisirenden Kräften war das Eisen überwiegend, bei stärkeren die Platten. Es ergiebt dies eine magnetische Leitungsfähigkeit für das Eisen im Zustande seiner grössten Magnetisirbarkeit von 480 bis 500, wenn die der Luft = 1 gesetzt wird. Der Versuch wurde mit grösseren Plattenabständen, ferner mit Eisendrähten, Blechen und mit quadratischen Eisenstäbchen wiederholt und gab dabei dasselbe Zahlenverhältniss.

Es lag jetzt die Frage nahe, ob dieser Vertheilungswiderstand der Luft im ca. 500fachen Betrage des Eisenwiderstandes nicht zum Theil dem Einflusse des in der Luft enthaltenen magnetischen Sauerstoffs

zuzuschreiben sei. Um das zu untersuchen, liess ich zwei runde eiserne Platten von 8 mm Durchmesser durch einen angelötheten Messingring miteinander verbinden. Durch zwei im Messingringe befindliche Oeffnungen mit eingesetzten Röhren, die durch Hähne verschlossen werden konnten, war es ermöglicht, den Zwischenraum zwischen den 5 mm voneinander abstehenden Eisenplatten mit einem beliebigen Gase zu füllen, oder auch ihn leer zu pumpen. Die so verbundenen eisernen Platten wurden dann an den Aufsatzstücken der Polenden des Elektromagnets befestigt und das magnetische Moment des magnetischen Kreises bei verschiedenen Stromstärken gemessen. Es stellte sich dabei nicht der geringste Unterschied heraus, mochte atmosphärische Luft, Sauerstoff oder Wasserstoff den Raum zwischen den Platten ausfüllen, oder mochte derselbe durch eine Quecksilberpumpe möglichst leer gepumpt sein.

Es folgt hieraus, dass die magnetische Eigenschaft des Sauerstoffs, sowie überhaupt der Einfluss der Materie mit Ausnahme des Eisens und der anderen sogenannten magnetischen Metalle auf die Magnetisirung erst bei sehr grossen magnetischen Momenten, bei denen schon diamagnetische Erscheinungen auftreten, hervortritt, und dass bei den nicht magnetischen Körpern für die magnetischen Erscheinungen nur die Raumverhältnisse in Betracht zu ziehen sind. Ob dies nicht dahin führen muss, die Ampère'schen molecularen Kreisströme in Anschluss an Pater Secchi's und Edlund's Anschauungen durch Aetherwirbel zu ersetzen, die den ganzen Weltraum erfüllen, und die in den magnetischen Körpern nur in weit grösserer Menge oder Stärke vorhanden sind, mag hier unerörtert bleiben. Die auffallende Thatsache, dass die Luftleere magnetische Vertheilung und Anziehung ebenso vermittelt, wie die nichtmagnetische Materie, würde jedenfalls dadurch ihre Erklärung finden.

Dass der mit nichtmagnetischer Materie erfüllte Raum, sowie die Luftleere von elektrischen Strömen qualitativ ganz ebenso, wie das Eisen im Zustande grösster Magnetisirbarkeit, nur nahe 500mal schwächer, beeinflusst werden, folgt aus folgendem Versuch:

Ich liess zwei Drahtrollen aus Windungen 1 mm dicken isolirten Drahtes von 87 mm lichter Weite und 100 mm Länge wickeln und legte sie in einem Abstande der Axen von 131 mm parallel nebeneinander. Die beiden nebeneinander liegenden Polflächen dieser Solenoïde wurden mit je einer Eisenplatte bedeckt, welche zwischen den Solenoïden mit einer Inductionsspirale umwunden war. Die Eisenbleche wurden durch dünne Messingbolzen, welche mit der Axe der Rollen zusammenfielen, an diese festgepresst. Es bildeten jetzt die beiden Solenoïde und die beiden Eisenplatten einen in sich geschlossenen Hufeisenmagnet, dessen magnetisches Moment durch die Inductionsspiralen auf den Eisenplatten zu messen war. In der nachstehenden

Tabelle VI sind diese Messungen zusammengestellt. Es ist aus der Tabelle ersichtlich, dass alle Erscheinungen ganz so sind, als wenn die Eisenplatten durch Eisencylinder anstatt der Messingbolzen miteinander verbunden wären. Als ich letzteres wirklich ausführte mit Eisencylindern von 4 mm Dicke, die also etwa $^1/_{500}$ des Querschnittes der Solenoïde hatten[1]), war in der That das magnetische Moment bei der Stromstärke 0,20 Amp. nahe doppelt so stark, als früher, wie die sechste Verticalspalte der Tabelle ergiebt, welche die Quotienten der Ablenkungen mit und ohne Eisencylinder angiebt. Dass die Quotienten bei sehr schwachen Strömen nicht viel von Eins verschieden waren, dann schnell bis zum doppelten Werthe anwuchsen und darauf langsam abnahmen, ist der Eigenschaft des Eisens der Verbindungsanker dieses Luftmagnets und der Eisencylinder zuzuschreiben, bei sehr schwachen magnetischen Momenten, sowie bei sehr starken der Magnetisirung einen grösseren Widerstand entgegenzusetzen.

Tabelle VI.

Intensität	Solenoïde allein		Als offenes Hufeisen		Als geschlossenes Hufeisen		Geschlossen und mit Eisenkernen		Verhältniss d. Ausschläge d. zwei letzten Reihen
	Ausschl.	Zuwachs	Ausschl.	Zuwachs	Ausschl.	Zuwachs	Ausschl.	Zuwachs	
0,01			51	51	55	55	65	65	1,18
0,05			270	55	295	61	380	79	1,27
0,10	52	5,2	580	62	640	68	1000	124	1,56
0,15			900	64	1020	76	1920	184	1,88
0,20			1236	67	1392	74	2864	189	2,06
0,30			1928	78	2160	77	4480	162	2,07
0,40			2616	69	2960	80	5850	137	1,97
0,50	258	5,2	3360	76	3800	84	7200	135	1,89
0,75			5250	77	6075	91	10250	122	1,68
1,00			7240	78	8400	93	12880	105	1,53

Als ein directer Beweis der Richtigkeit der Annahme, dass in einer von elektrischen Strömen umkreisten Eisenstange nur so viel Magnetismus hervorgerufen wird, wie durch die Summe der magnetischen Momente der ihre Oberfläche berührenden Luft- oder Raumtheile gebunden wird, kann folgende Beobachtung dienen.

Ist ein als unbegrenzt lang zu betrachtender Eisencylinder vom Radius r irgendwo — hinlänglich weit von den Enden — von einer Drahtspirale umgeben und wird das magnetische Moment, welches ein durch diese Spirale fliessender Strom der Einheit der Querschnittsfläche in einem beliebigen Abstande x von der Mitte der Spirale giebt, mit y bezeichnet, so ist das magnetische Moment dieses Querschnitts $= r^2 \pi . y$.

[1]) Rechnet man den Durchmesser des wirksamen Luftcylinders bis zur Mitte der Windungen, so verhalten sich die Querschnitte $\frac{\text{Eisen}}{\text{Luft}} = {}^1/_{560}$.

Dieses magnetische Moment muss nun mit Vergrösserung von x kleiner werden, und zwar, wenn die aufgestellte Theorie richtig ist, um so viel, wie durch das Moment der die Oberfläche des Verlängerungsstückes dx berührenden Luftschicht gebunden wird. Es besteht daher die Differentialgleichung:

$$-r^2 \pi \,.\, dy = 2\, r \pi \,.\, dx \,.\, y, \qquad -\frac{dy}{y} = \frac{2}{r} \cdot dx$$

$$-\ln y \frac{y_1}{y} = \frac{2}{r}\, x \,\Big|\, \begin{matrix} x \\ x - c, \end{matrix}$$

wenn c die Weglänge bezeichnet, für welche die Integration auszuführen ist, oder

$$\ln \frac{y}{y_1} = \frac{2}{r} \cdot c$$

und bei gleicher Verschiebung für verschieden dicke Stäbe von den Durchmessern $2\,r$ und $2\,\varrho$:

$$\ln \frac{y}{y_1} : \ln \frac{z}{z_1} = \varrho : r.$$

Diese Gleichungen besagen einmal, dass bei demselben Eisencylinder der Quotient der magnetischen Momente zweier gleich weit voneinander entfernten Querschnitte auf der ganzen Cylinderhälfte constant ist, dass also auch gleiche Verschiebungen einer Prüfungsrolle überall gleiche procentische Verminderungen des magnetischen Momentes ergeben müssen. Sie besagen ferner, dass bei verschieden dicken Stäben und gleichen Verschiebungen der Prüfungsrolle die Logarithmen der Quotienten der Momente sich umgekehrt wie die Durchmesser der Stäbe verhalten.

Es ist jedoch bei Aufstellung der Differentialgleichung die Annahme gemacht, dass das Moment der die Oberfläche des Stabes berührenden Luftschicht nur vom Momente der Einheit des Querschnittes des Stabes an der betreffenden Stelle abhinge. Das würde besagen, dass der Vertheilungswiderstand aller äusseren magnetischen Schliessungskreise derselbe wäre. In Wirklichkeit findet die vertheilende Action aber zwischen jedem Oberflächenelemente der einen Stabhälfte und allen entgegengesetzt magnetischen Punkten der anderen Stabhälfte statt. Sie ist also auch abhängig von der Entfernung von der Stabmitte. Diese Fehlerquelle wird um so einflussreicher werden, je näher der Stabmitte die Verschiebung um die Weglänge c stattfindet.

Die obigen Versuche bestätigen die Annahme, dass es keinen freien, sondern nur gebundenen Magnetismus giebt, und dass eine magnetische Kraft in magnetischen Körpern nur so viel Magnetismus erzeugen kann, wie in ihnen selbst und dem umgebenden Medium durch magnetische Vertheilung in Form geschlossener Anziehungscurven mit in jedem Querschnitt gleichem magnetischen Moment, gebunden

Tabelle VII.

Entfernung der Rollenmitten mm	φ 9 mm		φ 6 mm		φ 3 mm	
	Ausschlag y	$\frac{y}{y_1}$	Ausschlag y	$\frac{y}{y_1}$	Ausschlag y	$\frac{y}{y_1}$
90	4268	0,032	4054	0,057	290	0,112
100	3960	0,037	3558	0,052	222	0,116
110	3640	0,035	3160	0,052	168	0,121
120	3360	0,035	2800	0,059	130	0,111
130	3100	0,038	2440	0,053	100	0,114
140	2840	0,032	2160	0,056	80	0,097
150	2640	0,038	1900	0,048	60	0,125
160	2420	0,037	1700	0,058	—	—
170	2220	0,028	1488	0,052	—	—
180	2080	0,039	1320	0,056	—	—
190	1900	0,033	1160	0,058	—	—
200	1760	0,040	1016	0,060	—	—
210	1605	0,040	884	0,059	—	—
220	1465	0,032	772	0,052	—	—
230	1360	0,033	684	0,051	—	—
240	1260	0,036	608	0,061	—	—
Mittelwerth		0,035	—	0,055	—	0,114
Mittelwerth × Stabdicke		0,105	—	0,110	—	0,114

wird. Diese Vorstellung ist ganz analog der der elektrischen Molecularvertheilung, und es können daher die für diese gültigen Gesetze auch auf die magnetische Vertheilung in Anwendung gebracht und mit Hülfe des ermittelten Coëfficienten 480, welcher das Verhältniss zwischen dem Vertheilungswiderstande der Luft zu dem des Eisens ausdrückt, der Einfluss der Masse und Form des Eisens auf die Stärke eines herzustellenden magnetischen Feldes bestimmt werden.

Ist ein Eisenstab, auf dessen Mitte eine magnetisirende Kraft wirkt, nicht als unbegrenzt lang zu betrachten, so ist die für den unbegrenzten Stab berechnete Formel:

$$\ln \frac{y}{y_1} = \frac{2}{r}\, x$$

des Magnetismus der Endflächen wegen nicht direct anwendbar.

Ganz anders gestaltet sich die Vertheilung des Magnetismus eines Stabes von begrenzter Länge, wenn man die magnetisirende Kraft gleichmässig auf alle Theile des Stabes einwirken lässt. Die Abnahme des magnetischen Momentes von der Mitte des Stabes nach den Enden verliert dann den logarithmischen Charakter und nimmt, wie van Rees bereits nachgewiesen hat, den der Kettenlinie oder annähernd der Parabel an. Bei einem 150 mm langen Stabe von 7,70 mm Durchmesser, welcher in einer eng umschliessenden Glasröhre von nahe doppelter Länge, die mit einer Magnetisirungsspirale gleichmässig umwunden war, verschiebbar war, konnte das magnetische Moment jedes

Querschnittes durch eine über die Mitte des Glasrohres gewickelte Inductionsspirale gemessen werden, wenn die Richtung des Magnetisirungsstromes umgekehrt wurde.

In der folgenden Tabelle sind die magnetischen Momente desselben Stabes in den Abständen 20 bis 70 mm von der Mitte angegeben, wenn die Magnetisirung gleichmässig und wenn sie von der Mitte aus geschah. Die Stromstärken wurden so gewählt, dass der Magnetismus am Stabende in beiden Fällen nahe derselbe war.

Entfernung x d. secundären Rolle von der Stabmitte mm	Ausschläge y bei gleichmäss. Magnetisirung mm	Ausschläge bei Magnetisirung der Stabmitte mm
20	287	463
30	263	378
40	233	302
50	195	229
60	145	160
70	87	92

Nach der Scheitelgleichung der Parabel:

$$\frac{x_2}{y} = 2\,p$$

berechnet, geben die Ausschläge der zweiten Spirale für gleichmässige Magnetisirung des Stabes die Werthe für $2p$ — 23 | 22 | 22 | 23 | 23 | 22. Berechnet man aus den Werthen der dritten Spalte nach der Formel:

$$\ln \frac{y}{y_1} = \frac{2}{r}\,x$$

den Quotienten y/y_1 für die constante Verschiebung der Inductionsrolle um 10 mm, so erhält man die Werthe 1,25 | 1,25 | 1,32 | 1,4 | 1,4. Der Quotient der magnetischen Momente gleich weit voneinander entfernter Stellen des Stabes ist daher nicht constant, wie beim unbegrenzten Stabe, sondern er nimmt mit der Annäherung an das Stabende zu, wie zu erwarten war.

Van Rees hat gefunden, dass bei einem homogenen prismatischen Magnetstabe die magnetischen Momente der Querschnitte ebenso wie beim gleichmässig magnetisirten Eisenstabe parabolisch abnehmen. Es wird dies aber nur für solche Magnetstäbe geltend sein, denen bei der Magnetisirung ein gleichmässiges Moment über die ganze Länge des Stabes gegeben wurde. Nach Aufhören der magnetisirenden Kraft haben dann sämmtliche Molecularmagnete das gleiche Bestreben, wieder in den unmagnetischen Zustand zurückzugehen, woraus schliesslich dieselbe magnetische Gleichgewichtslage resultiren muss, wie sie beim gleichmässig magnetisirten Eisenstabe besteht.

Schliesslich möchte ich noch einige Bemerkungen an eine früher von mir an dieser Stelle gemachte Mittheilung[1]) knüpfen.

Ich stellte damals die Theorie auf, dass die nach der Ampère-Weber'schen Theorie anzunehmenden Molecularmagnete aus je zwei mit entgegengesetzten Polen nahe einander gegenüberstehenden Elementarmagneten oder Solenoïden bestehen müssten, die zusammen in jeder Richtung frei und ohne Widerstand zu erleiden, drehbar wären, durch äussere magnetisirende Kräfte oder in ähnlicher Weise gerichtet und auseinander gedreht würden, wie es bei — bis auf die Entfernung der Drehpunkte voneinander frei beweglichen — astatischen Nadelpaaren der Fall sein würde. Es war mir damals nicht bekannt, dass Stephan bereits früher dieselbe Ansicht vertrat und werthvolle mathematische Betrachtungen an dieselbe geknüpft hatte. Nach meiner oben entwickelten Anschauung müsste nun, wie schon hervorgehoben, die Ampère'sche Theorie dahin erweitert werden, dass der ganze Weltraum mit gepaarten Molecularsolenoïden oder, wenn man die Edlund'sche Anschauung theilt, dass der elektrische Strom räumlich fortbewegter Aether sei, mit Aetherwirbeln erfüllt ist, und dass diese in der magnetischen Materie in grösserer Anzahl vorhanden sind, als in der nicht magnetischen. Da nun eine auf die Molecularmagnete einwirkende magnetisirende Kraft nur dann einen merklichen Einfluss auf Auseinanderdrehung der gepaarten Elementarmagnete ausübt, wenn alle Nachbarn in dem magnetischen Kreise der Bewegung folgen und so ein in sich geschlossenes, der gegenseitigen Anziehung unterworfenes Gleichgewichtssystem herstellen können, so folgt daraus, dass die von der magnetisirenden Kraft direct bewirkte Drehung sehr klein sein muss gegen die gegenseitige Verstärkung der Drehung im geschlossenen magnetischen Kreise. Das erzeugte magnetische Moment muss also wesentlich das Product der gegenseitigen Verstärkung der Drehung sein, zu der die magnetisirende Kraft den Anlass giebt. Es tritt dem aber die Schwierigkeit entgegen, dass die Drehung nach Aufhören der magnetisirenden Kraft bei Abwesenheit von Coërcitivkraft auf Null zurückgeht. Ein solcher Gleichgewichtszustand lässt sich nicht anders als durch eine gleichzeitige Wirkung anziehender und abstossender Kräfte hervorgebracht vorstellen. Es müsste also durch das Zusammenwirken aller benachbarten anziehenden und abstossenden Molecularkräfte ein nahe, aber nicht ganz labiles Gleichgewicht der Elementarmagnete hervorgerufen werden, wenn den Thatsachen bei Annahme der Ampère'schen Theorie entsprochen werden soll. Dass sich eine diese nothwendige Anforderung erfüllende Combination von Molecularkräften als möglich nachweisen lassen wird, wage ich nicht zu behaupten.

[1]) Sitzungsber. d. Berl. Akad. v. 23. Juni 1881, S. 703.

Ueber eine

Einrichtung zur Darstellung der von der Pariser Conferenz zur Bestimmung der elektrischen Einheiten angenommenen Lichteinheit.

(Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 22.)

1884.

Die internationale Conferenz zur Bestimmung der elektrischen Einheiten, welche kürzlich in Paris tagte, hat unter Anderem auch beschlossen, als Lichteinheit die Menge des Lichtes anzunehmen, welche von einer Fläche von 1 qcm geschmolzenen Platins ausgeht, welches in Erstarrung begriffen ist. Sollte diese Einheit eine praktische Bedeutung erhalten, so war es nöthig, eine einfache, leicht verwendbare Einrichtung zu treffen, um vergleichende Messungen mit ihr an beliebigen Orten ausführen zu können. Es schien diese Aufgabe besonders durch den Umstand sehr erschwert, dass das Platin beim Schmelzen leicht Kohle, Silicium und andere Stoffe aufnimmt, wodurch seine Schmelztemperatur wesentlich erniedrigt wird.

Der kleine Apparat, welchen ich der Akademie hier vorlege, entspricht eigentlich der Definition der Lichteinheit, wie sie in Paris festgesetzt ist, nicht ganz, da er die Lichtmenge, die von schmelzendem, und nicht die, welche von erstarrendem Platin ausgeht, angiebt. Es ist aber wahrscheinlich, dass diese Differenz bei chemisch reinem Platin sehr klein ist. Die Einrichtung basirt auf der Schmelzung eines sehr dünnen Platinbleches durch den galvanischen Strom. Das Blech ist in einen Metallkasten eingeschlossen, welcher dem vom glühenden Bleche ausgehenden Lichte nur den Austritt durch ein Loch von 0,1 qcm Querschnitt gestattet, welches demselben nahe gegenübersteht. Die Wände des Loches sind conisch und das Platinblech überragt dasselbe nach allen Seiten. Im Augenblicke des Schmelzens des

Platinbleches tritt daher aus dem Loche eine Lichtmenge von 0,1 der Lichteinheit.

Durch langsame Vermehrung der Stromstärke kann man bewirken, dass der Augenblick des Schmelzens des Bleches erst eintritt, nachdem man das Gleichgewicht der Beleuchtung mit der zu messenden Lichtquelle genau festgestellt hat. Nach vorläufigen Messungen ist die Lichtmenge, welche im Augenblick des Schmelzens vom Apparate ausgeht, nahe gleich 1,5 englischen Normalkerzen.

Ueber elektrische und Lichteinheiten nach den Beschlüssen der Pariser internationalen Conferenz.

(Vortrag, gehalten in der Sitzung des Elektrotechnischen Vereins am 27. Mai.)

1884.

Ueber die Beschlüsse des internationalen Congresses der Elektriker, welcher im Jahre 1881 in Paris tagte, haben die Herren Dr. Neesen und von Helmholtz seinerzeit der Gesellschaft ausführlich berichtet. Bekanntlich trat im Jahre 1882 auf Grund der Congressbeschlüsse eine Conferenz von Delegirten der verschiedenen Staaten in Paris zur definitiven Feststellung der Einheiten zusammen. Da diese Conferenz sich überzeugte, dass die Arbeiten der Gelehrten noch nicht hinlänglich übereinstimmende Resultate gaben, um numerische Werthe für die Einheiten feststellen zu können, so vertagte sie ihre endgültigen Beschlüsse bis dahin, dass eine Uebereinstimmung in den Bestimmungen des Verhältnisses des Ohm zur Quecksilbereinheit bis auf $\frac{1}{1000}$ erzielt wäre. Im Laufe dieses Monats hat nun eine zweite Delegirten-Conferenz in Paris getagt, welche die Arbeiten zu einem einstweiligen Abschlusse gebracht hat. Da Herr von Helmholtz — der leider erst etwas später erscheinen kann — uns eine Mittheilung über die Arbeiten der beiden Conferenzen zu machen beabsichtigt, so beschränke ich mich auf einige wenige Betrachtungen über die endgültigen Beschlüsse der letzten Conferenz und will daran einen Vorschlag zur praktischen Durchführung der von der Conferenz angenommenen Definition der Lichteinheit knüpfen.

Da auch die neueren, von verschiedenen Beobachtern ausgeführten Bestimmungen des Ohm die von der vorigen Conferenz für erforderlich gehaltene Uebereinstimmung innerhalb eines Tausendstels des Werthes nicht ergeben hatten, so beschloss die Conferenz, den Werth desselben einstweilen auf 1,06 Quecksilbereinheit festzusetzen, es künftigen exacteren Untersuchungen überlassend, weitere Decimalen hinzuzufügen,

sobald dieselben als unzweifelhaft feststehend anerkannt sind. Bis zur internationalen Anerkennung einer solchen genaueren Präcisirung bildet demnach 1,06 Quecksilbereinheit die gesetzliche Widerstandseinheit, den „Ohm legal". In ähnlicher Weise wie der Widerstandseinheit hat der Congress und nach ihm die Schlussconferenz den Einheiten der elektrischen Spannung, der Stromstärke, der Elektricitätsmenge der elektrostatischen Capacität besondere Namen, Volt, Ampère, Coulomb, Farad, gegeben. Leider vermissen wir Deutschen unter diesen Namen berühmter Elektriker den des Schöpfers des absoluten Masssystems selbst, den unseres Wilhelm Weber. Es war wohl wesentlich eine widrige Verkettung von Umständen, die dies verschuldete. Genau genommen, sind übrigens diese Benennungen nur für die Uebergangszeit von Bedeutung, so lange eine Verwechselung mit anderen, bisher gebräuchlichen Masseinheiten ohne besondere Bezeichnung zu befürchten ist. Ist das C. G. S.-Masssystem einmal überall gesetzlich feststehend und in Uebung, so ist eine besondere Benennung der Einheiten ganz überflüssig. Es genügt dann die einfache Zahlangabe, da es selbstverständlich ist, dass man z. B. Stromstärken nicht mit Widerstands- oder Capacitätseinheiten messen kann. Nur wenn man eine vom adoptirten C. G. S.-System abweichende Einheit benutzen will, muss

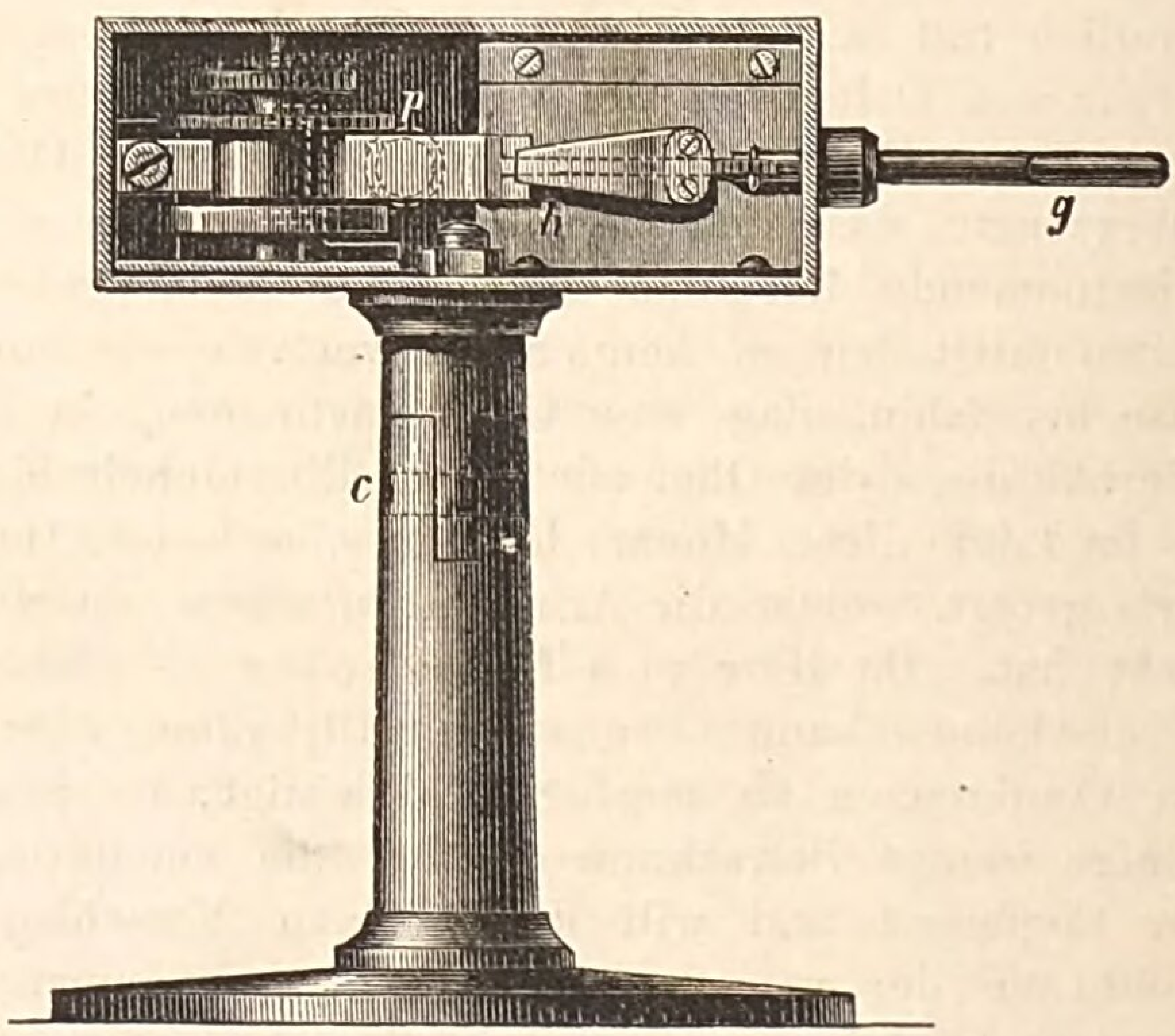


Fig. 40.

diese speciell bezeichnet werden. Benutzt man z. B. die Quecksilbereinheit, so wird man der den gemessenen Widerstand angebenden Zahl die Bezeichnung *Hg* hinzusetzen müssen, um dadurch anzudeuten, dass man nicht die gesetzliche, sondern die Quecksilbereinheit meint.

Wenn die Schlussconferenz ihre Arbeiten auch für abgeschlossen

erklärt hat, nachdem sie den Werth der gesetzlichen Widerstandseinheit in Quecksilbereinheiten festgestellt und eine exacte Definition für die übrigen elektrischen Einheiten und die Lichteinheit gegeben hat, so ist die Sache selbst doch damit noch lange nicht abgeschlossen. Die Etalonirung dieser verschiedenen Einheiten und die Auffindung praktischer Methoden für ihre Reproduction verlangen noch eine ansehnliche und theilweise recht schwierige Gelehrtenarbeit. Es ist zu wünschen, dass diese wichtige Arbeit recht eifrig fortgesetzt wird, damit die Wissenschaft und Elektrotechnik recht bald der Segnungen eines streng geordneten und in der Anwendung bequemen Masssystems theilhaftig werden.

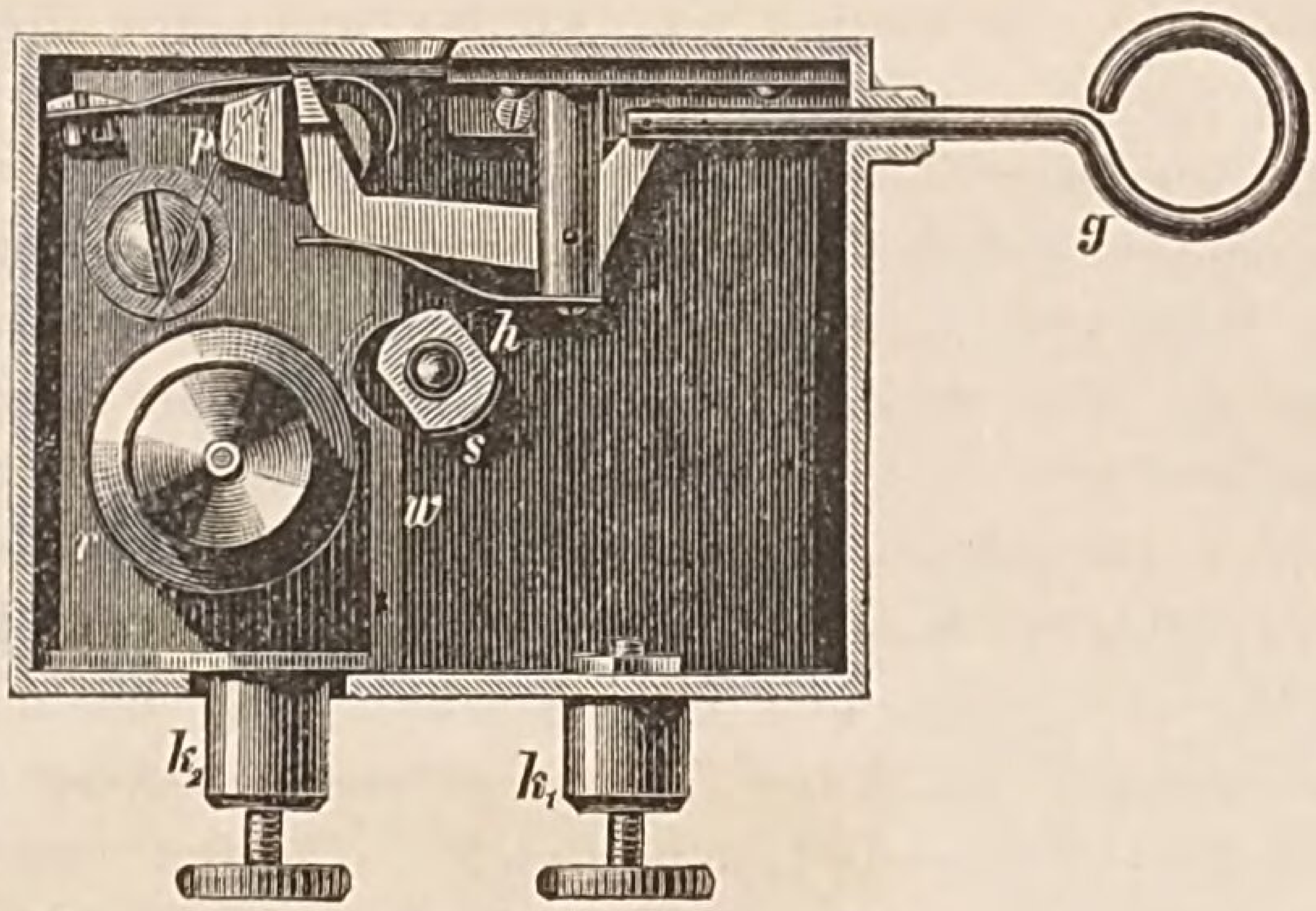


Fig. 41.

Die Conferenz hat als Einheit des weissen Lichtes diejenige Lichtmenge adoptirt, welche von 1 qcm geschmolzenen reinen Platins bei der Erstarrungstemperatur ausgestrahlt wird. Als Einheit farbigen Lichtes gilt die Menge gleichfarbigen Lichtes, welche in diesem weissen Licht enthalten ist. Diese Definition der Lichteinheit erregte im Schosse der Conferenz selbst grosse Bedenken. Es wurde eingewendet, dass das vom schmelzenden Platin ausgehende Licht dem Sonnen- und elektrischen Lichte gegenüber noch nicht weiss zu nennen sei, dass es bisher keine sichere Methode gäbe, die definirte Einheit des farbigen Lichtes aus der als Einheit angenommenen weissen Lichtmenge in zur Messung geeigneter Form wirklich zur Erscheinung zu bringen, dass die Mittel zum Schmelzen des Platins, ohne es durch Kohle, Silicium oder andere Körper zu verunreinigen, noch sehr unvollkommen und schwer in Anwendung zu bringen wären und dass es endlich schwer wäre, exacte Lichtmessungen mit einer geschmolzenen Platinmasse wirklich auszuführen. Ich schlug aus diesen Gründen der Conferenz vor, einstweilen als praktisch brauchbare Lichteinheit die kleine Normallampe anzunehmen, welche von Hefner-Alteneck construirt und Ihnen in der Sitzung des Vereins vorgeführt hat. Wenn diese Lampe

auch manche Mängel hat, als welche ich bezeichnen will, dass sie ein ziemlich farbiges Licht giebt und wie alles Flammenlicht vielen Störungen ausgesetzt ist und manche Correcturen erfordert, so giebt sie doch im Vergleich mit den bisher gebräuchlichen Lichtmaassen sehr zuverlässige Resultate, ist sehr bequem in der Anwendung und konnte daher in ähnlicher Weise wie die Quecksilbereinheit als Ausgangspunkt und interimistisches Mass bis zur erfolgten Lösung des Problems einer rationelleren Lichteinheit dienen. Von englischer Seite wurde dagegen die durch eine bestimmte elektrische Arbeitsgrösse in einem Kohlenfaden (Swan-Lampe) hervorgerufene Lichtmenge als Einheit vorgeschlagen. Keiner dieser Vorschläge fand aber den Beifall der Conferenz, und zwar die von Hefner'sche Lampe nicht aus den schon angeführten Gründen und die elektrische Glühlampe nicht wegen der Abhängigkeit der bei gleicher Temperatur des Kohlenfadens von ihm emittirten Lichtmenge von der Molecularbeschaffenheit der Oberfläche des Kohlenfadens. Die Platineinheit wurde daher schliesslich als relativ zuverlässigste von der Conferenz anerkannt und als gesetzliche Lichteinheit adoptirt.

Ich habe mich nun bemüht, diese Einheit in einer bequemeren Form zur Erscheinung zu bringen, wie es durch Herrn Violle, der sie in Vorschlag gebracht hat, geschah. Es ist mir dies in der That in überraschend einfacher Weise gelungen. Allerdings entspricht die kleine Lampe, die ich Ihnen gleich vorführen werde, eigentlich nicht der von der Conferenz gegebenen Definition, da das Licht bei ihr nicht von im Erstarren begriffenem geschmolzenen Platin, sondern von im Schmelzen begriffenem ausgeht. Ob beim reinen Platin eine in Betracht kommende Temperaturdifferenz zwischen dem Schmelz- und Erstarrungspunkte besteht, ist noch unbekannt. Sollte ein solcher Unterschied wirklich constatirt werden, so müssten die Angaben meiner Lampe durch einen zu ermittelnden Coëfficienten corrigirt werden, um die gesetzliche Lichteinheit zu geben. Die Lampe beruht auf dem Schmelzen eines sehr dünnen, 5 bis 6 mm breiten Platinbleches durch einen dasselbe durchlaufenden elektrischen Strom. Das Platinblech ist in einen kleinen Metallkasten eingeschlossen, in dessen einer schmalen Wand sich eine nach innen conisch verjüngende Oeffnung befindet, deren kleinster Querschnitt möglichst genau 0,1 qcm Inhalt hat. Dicht hinter diesem Loch befindet sich das Platinblech, welches dessen Ränder nach allen Seiten überragt. Wird nun dies Platinblech durch Einschaltung einiger galvanischer Zellen zum Glühen gebracht, so ist die durch das Loch ausstrahlende Lichtmenge genau so gross, als wenn der Sitz der Lichtausstrahlung sich in der Fläche der Oeffnung selbst befände. Hat man nun die Batterie mit einer Einrichtung versehen, welche gestattet, die Stromstärke sehr langsam zu vergrössern, so hat man Zeit, das Photometer fortwährend in der Gleichgewichtslage

zu erhalten, bis das Platin schmilzt und plötzlich Dunkelheit eintritt. Das vom Loche kurz vor diesem Moment ausgestrahlte Licht ist dann genau $\frac{1}{10}$ der von der Conferenz adoptirten Einheit für weisses Licht. Ein kleiner, im Gehäuse der Lampe angebrachter Zangenmechanismus ermöglicht es, durch eine einfache Hin- und Zurückschiebung eines Griffes ein neues Stück des auf eine Rolle aufgewickelten Platinbleches anstatt des geschmolzenen einzuschalten und vor das Loch zu bringen und so das Experiment ohne Zeitverlust beliebig oft zu wiederholen.

Vor der Methode des Schmelzens des Platins in einem Kalktiegel hat die eben beschriebene, ausser der unvergleichlich grösseren Einfachheit und leichteren Handhabung, noch den wesentlichen Vorzug, dass das Platinblech aus chemisch reinem Platin gewalzt werden kann und sich beim Schmelzen selbst nicht verunreinigt. Da ferner das Platinblech sehr dünn sein kann — etwa 0,02 mm Dicke ist ausreichend — so ist der Consum an Platin nur sehr gering.

Die von der Conferenz adoptirte Lichteinheit wird daher durch diesen Apparat praktisch brauchbar und ist dann in der That das zuverlässigste und rationellste Lichtmass, welches wir gegenwärtig aufstellen können.

Wie weit man diesen Apparat zu praktischen Lichtmessungen mit Vortheil direct verwenden kann, wird sich erst im praktischen Gebrauche herausstellen. Wahrscheinlich werden die Elektriker in der Regel vorziehen, Glühlampen zu ihren Messungen zu verwenden, welche sie von Zeit zu Zeit mittelst des Platin-Lichtmessers bestimmen und controliren. In ähnlicher Weise werden die Gastechniker wohl in der Regel vorziehen, die von Hefner'sche Normallampe zu benutzen, welche für sie den Vorzug hat, dass ihre Lichtfarbe der der Gasflammen nahe steht und dass sie denselben lichtschwächenden Einflüssen unterworfen ist wie diese. Die vergleichenden Messungen, welche ich mit der Platinlampe habe anstellen lassen, haben noch keine numerische Bedeutung, da noch kein chemisch reines Platin zu dem benutzten Bleche verwendet werden konnte. Sie zeigen aber, dass die Messungen sehr gleichmässig ausfallen und bequem ausführbar sind. Sie haben für eine von Hefner'sche Normallampe oder eine Normalkerze von 40 mm Flammenhöhe 0,07 der von der Conferenz adoptirten Lichteinheit ergeben. Es ist aber wahrscheinlich, dass die Messungen etwas kleiner ausfallen werden, wenn chemisch reines Platin zur Verwendung kommt.

Ueber die Erhaltung der Kraft im Luftmeere der Erde.

(Sitzungsberichte der Königl. preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. XIII. Sitzung am 4. März.)

1886.

In meiner Mittheilung an die Akademie „Ueber die Zulässigkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentials und dessen Bedeutung zur Erklärung terrestrischer Phänomene[1])“ versuchte ich, einige noch räthselhafte meteorologische Erscheinungen auf Störungen des mechanischen Gleichgewichtes der Atmosphäre zurückzuführen. Ein weiteres Eingehen auf diese interessanten Fragen hat mir gezeigt, dass die consequente Anwendung des Grundsatzes der Erhaltung der Kraft im Luftmeere in noch viel höherem Masse zu ihrer Klärung führt, als ich es früher erkannte.

Die Abhängigkeit der meteorologischen Erscheinungen von einander ist in den letzten Decennien von den Meteorologen sehr eingehend studirt. Es liegt darüber ein fast unübersehbares Beobachtungsmaterial vor, auf welches viele geistreiche Theorien aufgebaut sind. Diese knüpfen aber meist an secundäre Erscheinungen an und ruhen daher auf einer engen Grundlage. Es will sogar scheinen, als wenn die moderne Meteorologie über diesen Specialstudien die Erforschung der ersten Ursachen der beobachteten Erscheinungen etwas vernachlässigt hätte. Dove suchte in seiner Theorie der Winde und Stürme ihre Ursache doch noch ganz in dem aufsteigenden Luftstrome der heissen Zone, der über derselben einen höheren Luftring bilde, welcher nach den Polen hin abströmen müsste, und erklärte die vielfach in Richtung und Stärke wechselnden Winde durch den Kampf dieses Aequatorialstroms mit den aus den polaren Regionen zum Aequator zurückströmenden Luftmassen. Wenn auch für diesen Kampf durch Aufeinanderstossen entgegengesetzt gerichteter Luftströme kein rechter Grund zu finden und bei der ziemlichen Gleichmässigkeit des mittleren

[1]) Sitzungsberichte vom 31. März 1883.

Luftdruckes der ganzen Atmosphäre nicht recht zu ersehen war, warum sich die Luft aus den polaren Regionen mit solcher Energie zu dem im Vergleich mit der Höhe der Atmosphäre so weit entfernten Aequator hin bewegte, so war diese Erklärung doch immer noch befriedigender, als die jetzt gebräuchliche, fast ausschliessliche Zurückführung der Bewegungserscheinungen im Luftmeere der höheren Breiten auf Minima und Maxima des Luftdruckes, von denen man wirklich nicht zu sagen weiss, woher sie kommen und wohin sie gehen. Erst wenn man weiss, wo die Kräfte ihren Sitz und Angriffspunkt haben, welche in oft gar nicht ersichtlicher Weise die gewaltige Energie in den Maximis und Minimis ansammeln, welche dann ihrerseits die Stürme und Wirbelwinde erzeugen sollen, können diese Erklärungen der Richtung und Stärke der Winde als wissenschaftlich begründet angesehen werden.

Es soll in den folgenden Blättern versucht werden, an der Hand der Lehre von der Erhaltung der Kraft zur Ausfüllung dieser Lücken beizutragen.

Es herrscht wohl darüber allgemein Einverständniss, dass alles Leben und alle Bewegung auf der Erde der Sonnenstrahlung entstammt. Ohne Wärmezufuhr durch Sonnenstrahlung würde auch das Luftmeer bewegungslos sein oder vielmehr ohne eigene relative Ortsveränderung und Temperatur der Erdrotation folgen, wenn von der Sternenstrahlung und der Eigenwärme der Erde abgesehen wird. Die Erdrotation würde der bei der Temperatur- des Weltraums noch als gasförmig und dem M a r i o t t e'schen Gesetze unterworfen angenommenen Atmosphäre die Niveauflächen des Rotations-Ellipsoids geben, kann aber niemals eine andauernde Luftcirculation hervorrufen, wie man vielfach noch annimmt. Da die mittleren Temperatur- und Bewegungsverhältnisse der Atmosphäre sich in absehbaren Zeiten ebenso wenig ändern, wie die Erdrotation selbst, so muss in der Erdatmosphäre ein constantes Quantum Sonnenenergie in Form von freier und latenter Wärme, lebendiger Kraft bewegter Luftmassen oder als locale Druckansammlung aufgespeichert sein. Dem entsprechend muss die Wärmezufuhr durch Sonnen- und Sternenstrahlung dem Wärmeverluste durch Ausstrahlung in den Weltraum gleich sein. Die Wärmezufuhr findet zum Theil direct an die Atmosphäre durch Absorption hindurchgehender Strahlen, zum grösseren Theile aber durch Erwärmung der Erdoberfläche statt und wird daher vorzugsweise zur Erwärmung der unteren Luftschichten und zur Wasserverdampfung verwandt. Der Wärmeverlust durch Ausstrahlung ins Weltall geht ebenfalls vorzugsweise von der festen und flüssigen Erdoberfläche aus und nur zum geringeren Theile direct von der Luftmasse. Es sind hierbei zwei wichtige Punkte ins Auge zu fassen. Während die als von einem Punkte ausgehend zu betrachtende Sonneneinstrahlung vorzugsweise den niederen Breiten zugeht, ist die nach allen Orten des Himmelsraums gerichtete

Ausstrahlung unabhängig von der geographischen Breite und nur abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen den ausstrahlenden Theilen der Erdoberfläche und der des Weltraumes. Da die den Weltraum scheinbar erwärmende Sternenstrahlung für alle Theile der Erdoberfläche sich ebenso verhält, wie die Ausstrahlung, so kann sie vernachlässigt werden, und es ist dann als Temperatur des Weltraumes der absolute Nullpunkt anzunehmen. Es ist ferner bei der Ausstrahlung zu beachten, dass der directe Ausstrahlungsverlust der höheren dünneren Luftschichten grösser sein muss, wie der der tieferen, weil die Ausstrahlung in die Leere grösser ist als die in lufterfüllte Räume.

Dies vorausgesetzt, lassen sich für das Gleichgewicht im Luftmeere die folgenden Bedingungen aufstellen:

1. Der Gleichgewichtszustand der ruhenden Atmosphäre ist der indifferente, die zugehörige Temperaturcurve die adiabatische. Das heisst also, die Versetzung einer Luftmasse aus einer Höhenlage in eine andere ist, abgesehen von Reibungsverlusten, weder mit Arbeitsleistung noch Arbeitsaufwand verknüpft.
2. Durch Erwärmung der der Erdoberfläche näher liegenden Luftmassen durch Sonnenstrahlung über die ihr zukommende adiabatische Temperatur hinaus, sowie durch Abkühlung durch verstärkte Ausstrahlung der höchsten Luftschichten unter dieselbe, wird eine Störung des indifferenten Gleichgewichtes der Atmosphäre erzeugt, die einer localen Arbeitsansammlung entspricht. Die zur Wasserverdampfung verwandte Wärme vermehrt diese Gleichgewichtsstörung im gleichen Sinne und Verhältnisse, da der Wasserdampf ein geringeres specifisches Gewicht hat wie die Luft, und da die latente Wärme des durch die adiabatische Abkühlung der Luft beim Aufsteigen condensirten Dampfes zur Erwärmung und Ausdehnung der Luft verwandt wird.
3. Die in der Störung des indifferenten Gleichgewichtes der Atmosphäre durch Ueberhitzung der unteren und Ueberkühlung der oberen Luftschichten angesammelte Energie muss sich durch auf- und niedergehende Luftströmungen ausgleichen. Dem zweiten Clausius'schen Lehrsatze der mechanischen Wärmetheorie entsprechend, geht der Wärmeüberschuss der sich arbeitend ausdehnenden Luft dabei zum grösseren Theile in lebendige Kraft bewegter Luft über, zum geringeren verbreitet er sich auf grössere und relativ kältere Luftmassen. Der beschleunigt aufsteigende Luftstrom muss daher bis zur grössten Verdünnung einen negativen Wärmeüberschuss über die der Höhenlage entsprechende adiabatische Temperatur beibehalten.
4. Die in den beschleunigt auf- und niedergehenden Luftströmen angesammelte lebendige Kraft kann nur dadurch wieder vernichtet werden, dass sie entweder durch innere oder äussere

Reibung oder durch locale Druckvermehrung wieder in Wärme übergeführt wird.

5. Die in der Rotation des Luftmeeres um die Erdaxe angesammelte mechanische Energie muss eine Constante sein und im relativen Ruhezustande überall der Rotationsgeschwindigkeit des Theiles der Erdoberfläche entsprechen, auf dem sie ruht. Da durch äquatoriale und polare Luftströmungen ein fortwährender Wechsel des geographischen Ortes der Luftmassen stattfindet, so muss die Rotationsgeschwindigkeit der gesammten Atmosphäre in niederen Breiten hinter der Rotationsgeschwindigkeit der Erdoberfläche zurückbleiben, in höheren dagegen ihr voreilen. Die Grösse der Reibung mit dem Erdboden, welche diese Geschwindigkeitsdifferenzen vermindert, muss dabei in den äquatorialen Breiten ebenso gross sein, wie die in den polaren, damit die Constanz der mittleren Rotationsgeschwindigkeit des ganzen Luftmeeres aufrecht erhalten bleibt. Der Geschwindigkeitsverlust durch Reibung beeinflusst daher nur die örtliche Grösse der Geschwindigkeitsdifferenz.

6. An der Grenzfläche von Luftströmen verschiedener Geschwindigkeit findet eine fortlaufende Mischung benachbarter, mit verschiedener Geschwindigkeit behafteter Lufttheile statt. Durch diesen der Reibung analogen Vorgang tritt eine der Geschwindigkeitsdifferenz proportionale Verzögerung des schneller und Beschleunigung des langsamer fliessenden Stromes ein. Es folgt daraus an der Bewegungsgrenze eine Druckvermehrung im schnelleren und eine Druckverminderung im langsameren Luftstrome.

Von diesen Grundsätzen bedürfen wohl nur die beiden letzten einer besonderen Erörterung.

Denkt man sich das ganze Luftmeer in relativer Ruhe und vernachlässigt man seine, im Vergleich mit dem Erdradius geringe Höhe, so würde seine lebendige Kraft

$$K = \frac{4 r^4 \pi^3 q}{T^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{3^2}} \cos \alpha \, d\alpha = \frac{16}{3} \frac{r^4 \pi^3 q}{T^2}$$

sein, wenn K die Summe der lebendigen Kraft, q das Gewicht der auf der Oberflächeneinheit ruhenden Luft, T die Umdrehungszeit der Erde in Secunden und α der Breitenwinkel ist. Es ergiebt sich hieraus für die mittlere Geschwindigkeit der Luft, welche dieser Grösse der lebendigen Kraft entspricht,

$$c = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{2 r \pi}{T} = 379 \text{ m pro Secunde.}$$

Es ist dies die dem 35. Breitengrade entsprechende Geschwindigkeit.

Denkt man sich das ganze Luftmeer nun plötzlich innig gemischt, derart, dass jedes Theilchen die obige mittlere Geschwindigkeit angenommen hätte, so müsste die Luft vom Aequator bis zum 35. Breitengrade langsamer rotiren, wie die Erdoberfläche, in höheren Breiten dagegen schneller. Unter dem Aequator selbst wäre diese Geschwindigkeitsdifferenz 84 m in der Richtung von Ost nach West, unter dem 45. Breitengrade 59 m und unter dem 54. Breitengrade 107 m in der Richtung von West nach Ost. Durch die Reibung mit der Erdoberfläche würde diese Geschwindigkeitsdifferenz allmählich wieder vernichtet werden, wenn keine Luftströmungen in der Richtung vom Aequator nach den Polen und umgekehrt stattfänden. Da diese Strömungen jedoch immer stattfinden, so muss ein Gleichgewichtszustand eintreten, bei welchem die Mischung der schneller rotirenden äquatorialen mit der langsamer rotirenden polaren Luft so weit hergestellt wird, dass die beschleunigende Reibung der äquatorialen Zone bis zum 35. Grade nördlicher und südlicher Breite der verzögernden Reibung der übrigen Erdoberfläche gleich ist. Es müssen im ganzen Luftmeere der äquatorialen Zone daher Ostwinde, in den nördlich und südlich vom 35. Grade liegenden Regionen Westwinde überwiegend sein, und zwar muss das Ueberwiegen der Westwinde mit der Breite zunehmen[1]).

Es möge nun zunächst der hypothetische Fall betrachtet werden, dass die Erde eine ebene feste Kugel mit homogener Oberfläche und der Wassergehalt der Atmosphäre verschwindend klein wäre. Es würden dann das indifferente Gleichgewicht und die adiabatische Temperatur der verschiedenen Höhenschichten der Atmosphäre nur noch durch die Luftströmungen beeinflusst werden, welche durch die verschiedene Erwärmung der Luft durch Sonnenstrahlung und verschiedene Abkühlung derselben durch Ausstrahlung hervorgerufen werden. Die

[1]) Leider ist mir erst vor einigen Tagen das neu erschienene Lehrbuch von Dr. A. Sprung zur Hand gekommen, aus welchem ich entnommen habe, dass bereits Ferrel aus ähnlichen Beobachtungen den 35. Breitengrad als denjenigen bezeichnet hat, über welchem die gesammte Luftströmung eine meridionale Richtung haben müsste. Seiner Ansicht, dass durch die verzögernde Reibung der Luft an der Erdoberfläche die Lage dieser Zone allgemein nach dem Aequator hin verschoben würde, kann ich aber nicht beipflichten. Die Reibung an der Erdoberfläche kann meiner Ansicht nach nur die Grösse der Geschwindigkeitsdifferenz, namentlich des unteren äquatorial gerichteten Luftstromes, vermindern, aber nicht den Ort, wo diese Differenz zwischen Luft- und Erdgeschwindigkeit gleich Null wird. Der Verfasser dieses sehr bemerkenswerthen Werkes ist offenbar überall bestrebt gewesen, den meteorologischen Erscheinungen eine mechanisch-physikalische Grundlage zu geben und ist daher auch häufig zu ähnlichen Anschauungen gekommen, wie sie hier vertreten werden. Es ist mir aber leider nicht mehr möglich gewesen, die in sehr wesentlichen Punkten obwaltenden Differenzen besonders zu erörtern.

Erwärmung der Luft, und zwar vorzugsweise der unteren Luftschichten, ist bei Weitem am grössten in der äquatorialen Zone und nimmt von da annähernd mit dem Cosinus der Breite ab. Es muss daher auch die Umwandlung von Sonnenenergie in lebendige Kraft bewegter Luft am Aequator am stärksten sein und nach den Polen hin abnehmen. Diese Umwandlung geschieht im aufsteigenden Strome (courant ascendant). Wenn man einstweilen auch von der Verschiebung der heissen Zone durch den Wechsel der Jahreszeiten absieht, so sind in ihr die Bedingungen für einen allgemeinen und continuirlichen Aufstrom der Luft vorhanden. In der That strömt auch continuirlich in den unteren Passatwinden Luft aus mehr polar gelegenen Regionen dem Aequator zu. Dieser Luftstrom muss hier eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben, als die unter ihr befindliche Erdoberfläche, also von Ost nach West gerichtet sein, aus dem schon erwähnten Grunde der Erhaltung der mittleren Rotationsgeschwindigkeit des Luftmeeres. Da die nördliche und südliche Componente der beiden unteren als gleich stark angenommenen Passatströmungen bei der Annäherung an den Aequator sich gegenseitig aufheben, so verstärkt ihre lebendige Kraft den Auftrieb der Luft. Es muss also eine Aufwärtsbewegung der ganzen Luftmasse der heissen Zone in aufsteigenden Spiralen, die der Erdrotation entgegengerichtet sind, stattfinden. Nur über dem Aequator selbst muss ein Luftring übrig bleiben, der an der aufsteigenden Bewegung nicht Theil nehmen kann, und an dessen nördlicher und südlicher Oberfläche die spiralförmig aufsteigenden Passatströme hinaufgleiten. Durch Mitführung der Grenzschichten der relativ ruhenden äquatorialen Luftmasse müssen sich in derselben regelmässig verlaufende Wirbel erzeugen, welche der Mitte dieser Luftmasse eine entgegengesetzte, also der Erdrotation gleichgerichtete Geschwindigkeit geben. Es ist dies die Region der Kalmen. Die der Erdoberfläche zunächst liegenden, also auch am meisten erwärmten Theile der Passatströme vereinigen sich über dem sich keilförmig nach oben verengenden Kalmenringe und bilden den mittleren Theil des mächtigen äquatorialen Aufstromes. Die Geschwindigkeit des Aufstromes dieser Luftmassen muss sich der durch die Druckverminderung bewirkten Verdünnung der Luft beim Aufstrom proportional vergrössern, da durch jeden horizontalen Schnitt in der Zeiteinheit gleichviel Luftmasse gehen muss; und die so erlangte lebendige Kraft muss die aufströmende Luft so hoch über die obere Grenze der Atmosphäre hinaustreiben, bis die durch den Druck umgebender Luftschichten nicht mehr äquilibrirte Schwerkraft die verticale Geschwindigkeitscomponente vernichtet hat. Es bildet sich so über der Mitte der heissen Zone der von Dove geschilderte, offenbar den Sonnenprotuberanzen und Fackeln analoge, äquatoriale Luftring, welcher continuirlich nach den Polen hin abströmen muss. Dieses Abströmen geschieht durch den beschleunigenden Druck

der durch die im Auftriebe gewonnene Geschwindigkeit über das Druckgleichgewicht hinausgetriebenen Luftmassen; die Geschwindigkeit, welche dieser den polwärts strömenden höchst verdünnten Luftmassen ertheilt, muss daher der im Auftriebe erhaltenen maximalen Geschwindigkeit äquivalent sein. Es können aber nur die dem Aequator nächsten, mittleren Schichten des ausgedehnten Gebietes des äquatorialen Aufstromes die verticale Richtung bis zur Vernichtung der senkrechten Componente ihrer lebendigen Kraft durch die Gravitation beibehalten. Es folgt dies schon aus der Betrachtung, dass überall im Luftmeere der Erde die Quantitäten der polwärts und der zum Aequator fliessenden Luftmassen für jeden Breitenkreis gleich sein müssen, wenn keine localen Druckdifferenzen entstehen sollen. Die Bahnen der beschleunigt aufsteigenden Luftmassen der heissen Zone müssen daher um so früher schon polwärts abgelenkt werden, je grösser ihr Abstand vom Aequator ist. Verfolgt man diese verschiedenen Strombahnen, so ergiebt sich, dass die dem Erdboden nächstliegenden Schichten der zum Aequator strömenden Luftmassen, welche auch durch die Sonnenstrahlung am meisten überhitzt sind, in der Nähe des Aequators in senkrechten Bahnen bis zur grössten Höhe aufströmen und von hier mit grösster Geschwindigkeit den Polen zugetrieben werden, dass die höher liegenden Schichten der Passatströmungen nicht die grössten Höhen der Atmosphäre erreichen und um so früher in polarer Richtung vom Aequator fortgetrieben werden, je grösser ihr Abstand von demselben und je grösser gleichzeitig ihre ursprüngliche Höhe über der Erdoberfläche ist.

Es wird sich daher das Bild der Luftströmungen in der heissen Zone so gestalten: Der an der Erdoberfläche durch Reibung mit dem Erdboden verlangsamte untere Passatstrom nimmt mit der Höhe über dem Boden an Geschwindigkeit zu. Dann kommt in unbekannter Höhe ein durch horizontale Luftwirbel ausgefüllter Zwischenraum zwischen dem oberen und unteren Passat. Darüber herrscht die polar gerichtete Strömung bis zur grössten Atmosphärenhöhe hinauf, und zwar nimmt die Polargeschwindigkeit dieser Strömung in schneller Progression mit der Höhe zu.

Es ist hierbei in Betracht zu ziehen, dass auf- und niedergehende Luftmassen ihre örtliche Rotationsgeschwindigkeit beibehalten, und dass mit zunehmender Breite das Strombett des polar gerichteten Stromes sich verengt, das des äquatorial gerichteten dagegen sich erweitert. In Folge des Beharrungsvermögens der strömenden Luftmassen wird daher eine stetige Druckvermehrung im polar gerichteten und eine Druckverminderung im äquatorial gerichteten Strome eintreten. Durch diese combinirte Wirkung muss eine mit dem Cosinus der Breite zunehmende allgemeine Rückströmung des oberen, polar gerichteten, in den unteren, äquatorial gerichteten Luftstrom stattfinden. Der partielle Uebergang des oberen Stromes zum unteren wird hierbei durch die beide Strom-

gebiete trennenden horizontalen Luftwirbel ohne wesentlichen Verlust an lebendiger Kraft vermittelt. Wenn keine Erdrotation vorhanden wäre, so würde sich diese Rückströmung bis zu den Polen hin voraussichtlich ohne wesentliche Störungen vollziehen. Der Verlust an lebendiger Kraft durch innere Reibung kann für die höchsten Luftschichten ihrer grossen Dimension wegen nur gering sein. Diese würden daher mit wenig verminderter Geschwindigkeit den polaren Regionen von allen Seiten zuströmen, dort eine Anstauung bewirken und zum Erdboden niedersinken, um von hier als Polarstrom zum Aequator zurückzukehren. Derselbe Vorgang würde partiell in allen Breiten stattfinden und das Endresultat wäre ein die ganze Atmosphäre umfassendes System von in meridionalen Ebenen verlaufenden Luftwirbeln, in denen die durch den Auftrieb in niederen Breiten gewonnene lebendige Kraft durch Reibung mit dem Erdboden und die dieselbe den höheren Luftschichten zuführende innere Reibung wieder vernichtet, bez. in Wärme übergeführt wird.

Durch die Rotation der Erde wird dies Strömungsbild nun sehr wesentlich verändert. In Folge der continuirlichen Ueberführung von Luft aus niederen Breiten in höhere und umgekehrt muss das Luftmeer eine mittlere Rotationsgeschwindigkeit annehmen, so dass die in der Gesammtrotation desselben angesammelte lebendige Kraft erhalten bleibt. Wie schon nachgewiesen ist, entspricht diese mittlere Rotationsgeschwindigkeit der des 35. Breitengrades. Es müssen also alle Strombahnen im Luftmeere verschoben werden. Zwischen dem 35. nördlichen und südlichen Breitengrade muss sowohl der obere wie der untere Strom hinter der Erdrotation zurückbleiben, also nach Westen gerichtet sein, während zwischen den 35. Graden und den Polen eine mit der Breite schnell zunehmende, der Erdrotation voreilende, östlich gerichtete Geschwindigkeit in beiden Strömen obwalten muss. Der Rücklauf des oberen, polar gerichteten Stromes zum Aequator vollzieht sich daher vor Ueberschreitung des 35. Breitengrades in westlich gerichteten Bahnen als Verstärkung des unteren Passats, und es müssen auch die den oberen vom unteren Strome trennenden Wirbelbewegungen diese Bewegungsfigur annehmen.

Viel complicirter gestalten sich die Luftbewegungen nach Ueberschreitung des 35. Grades. Während der obere, hier ganz polar gerichtete Luftstrom seine östliche Geschwindigkeit von etwa 380 m im Wesentlichen beibehalten wird, da die Verzögerung derselben durch innere Reibung in den höchsten Luftregionen nur gering sein kann, wird der zurückkehrende untere Strom durch die Reibung mit dem Erdboden sehr wesentlich verzögert und zwar um so mehr, je länger sein unterer Lauf ist. Dasselbe gilt von der meridionalen Geschwindigkeit, die in den höchsten Luftschichten nur wenig, in den unteren bedeutend durch Reibung vermindert wird.

Wenn nun bei wachsenden Breiten das obere Strombett sich derart verengt hat, dass eine Anstauung eintritt, so bewirkt die daraus resultirende locale Druckvermehrung zugleich eine Störung in der Zustandscurve des indifferenten Gleichgewichtes der Atmosphäre. Der zuströmende Luftüberschuss muss daher zunächst dazu verwandt werden, die tieferen Luftschichten derart zu verdichten, dass die Gleichgewichtscurve bis zum Erdboden hinab wieder hergestellt wird. Es entsteht mithin ein niedergehender Luftstrom und eine von dem Verhältniss der Druckvermehrung in der höheren Luftregion zu dem ihr zukommenden normalen Drucke abhängige Druckvermehrung auf dem Erdboden, also ein locales Maximum des Luftdruckes. Von dieser Region höheren Druckes werden nun auf dem Erdboden Luftströme in radialer Richtung ausgehen, welche verhindern, dass das indifferente Gleichgewicht der Druckvergrösserung in den höheren, verdünnten Luftschichten entsprechend vollständig wieder hergestellt wird. Es kann daher ein solches Druckmaximum längere Zeit fortbestehen, und indem es den Ueberschuss der zuströmenden äquatorialen Luft fortlaufend dem unteren Rückstrome zuführt, die Bildung einer regelrechten Abzweigung des oberen Stromes in den unteren sogar längere Zeit verhindern. Diese muss aber schliesslich doch eintreten, und es hört dann mit der Anstauung in den oberen Luftschichten auch die Ursache des Maximums auf.

Die Bildung der rückläufigen Abzweigung des oberen Aequatorialstromes hat man sich so vorzustellen, dass der durch die Anstauung in seinem Fortgange nach dem Pole gehemmte Strom durch sie noch mehr nach Osten hin abgelenkt wird, und dabei die tieferen relativ ruhigen oder in entgegengesetzter Richtung fliessenden Luftschichten durch innere Reibung mit sich fortreisst. Es wird daher in einem weiten Bogen mit geringem Gefälle sich dem Erdboden nähern, bis er schliesslich mit der Polarströmung vereint, seinen Rückgang nach dem Aequator antritt. Durch dies „mit sich Fortreissen" der tieferen Luftschichten wird er aber eine Verdünnung der unter ihm lagernden Grenzschichten der Luft veranlassen, und dadurch eine der früher beschriebenen entgegengesetzte Störung des indifferenten Gleichgewichtes herbeiführen. Es muss daher ein Aufstrom der tieferen Luftschichten eintreten zur Wiederherstellung des indifferenten Gleichgewichtes und ein locales Minimum des Luftdruckes auf dem Erdboden eintreten. Die hier beobachtete Grösse der Verminderung des Luftdruckes ist ebenso, wie beim Maximum, nicht gleich der durch die mitreissende Kraft des schneller strömenden oberen Luftstromes hervorgerufenen Druckverminderung selbst, sondern dem Verhältnisse derselben zu dem jener Höhe in der Curve des indifferenten Gleichgewichtes zukommenden Drucke entsprechend. Es erklärt sich hierdurch die sonst räthselhafte Grösse der beobachteten Barometerschwankungen in mittleren und höheren Breiten vollständig.

Auf dem Erdboden wird das so entstandene locale Minimum des Druckes Luft von allen Seiten heranziehen, die im Wirbel aufsteigt und schliesslich vom Aequatorialstrome mit fortgerissen wird. Es ist also auch hier die lebendige Kraft des Aequatorialstromes, welche das Minimum erzeugt und erhält und dadurch auch die Luft in Bewegung setzt, welche am Boden dem Minimum zuströmt. Da das Druckmaximum hiernach die in Folge der geographischen Verengung des oberen Strombettes auftretende Ursache eines eintretenden partialen Rückstromes des Aequatorialstromes ist und der Weg, den diese Rückströmung in den höheren Regionen beim allmählichen Niedersinken beschreibt, sich durch eine Furche niederen Druckes auf dem Erdboden abzeichnet, so stehen Maxima und Minima in einem ursächlichen Zusammenhange, werden daher in der Regel gleichzeitig und in geographischer Nachbarschaft auftreten. Es müssen daher auch die durch beide in den niederen Luftschichten hervorgerufenen Luftströmungen sich zu Strömungen combiniren, die wesentlich vom Maximum zum Minimum führen, deren Richtung aber durch die Erdrotation in bekannter Weise modificirt wird. Dies System localer Winde muss aber schliesslich dem Aequatorialstrome selbst weichen, wenn derselbe im allmählichen Niedergange den Erdboden erreicht. In der Regel, d. h. bei geringen Anstauungen im oberen Strombett, wird dies in Wirklichkeit nicht eintreten. Der eingeleitete Rückstrom vollzieht sich durch Auflagerung auf die höheren Schichten des polaren Rückstromes, und Maxima und Minima verschwinden, nachdem wieder constante Stromverhältnisse in den höheren Luftschichten eingetreten sind. Ist eine Anstauung aber beträchtlich, so bewirkt sie starke Druckmaxima und ein schnelleres Niedersinken des äquatorialen Rückstromes. Ueber einer Furche niederen Druckes wird derselbe sich dann mit nur wenig durch Mitreissen relativ ruhiger Luft verminderter Geschwindigkeit bis zum Boden niedersenken und hier Stürme erzeugen, die auf der nördlichen Halbkugel als Südwest beginnen, im Sinne des D o v e'schen Drehungsgesetzes durch West und Nordwest bei allmählicher Abschwächung durch Reibung am Boden und Mitreissen relativ ruhiger Luft in die herrschende Rückströmung zum Aequator übergehen. Diese stürmischen Winde müssen nun durch Convection der benachbarten Luftschichten weit über ihre eigenen Grenzen hinausreichende Luftwirbel erzeugen, die es sehr erschweren, den regelmässigen Verlauf der eingetretenen atmosphärischen Störung zu verfolgen. Dass der niedrige Barometerstand in der Regel noch fortdauert, wenn der Aequatorialstrom selbst schon den Boden erreichte, hat zum grossen Theil darin seinen Grund, dass durch die mitreissende Kraft der bewegten Luft alle in der Nähe der Strömung befindlichen ruhenden Luftmassen eine Verdünnung erleiden. Die Barometer zeigen aber den Druck der sie umgebenden ruhenden Luft, und nicht den wahren der in Bewegung begriffenen Luftmassen an. Ein

Barometer, welches sich in der Gondel eines schnell mit dem Sturme dahineilenden Luftballons befindet, muss daher einen wesentlich höheren Luftdruck anzeigen, wie ein im Zimmer aufgestelltes[1]).

Die in den Winden und Stürmen thätige lebendige Kraft entstammt nach dem Obigen im Wesentlichen der Beschleunigung, welche die in den Tropen aufsteigende Luft infolge ihrer Ueberhitzung am Erdboden erleidet. Die dieser äquivalente lebendige Kraft wird vorzugsweise auf die oberen äusserst verdünnten Luftschichten übertragen. Durch ihr Beharrungsvermögen werden diese mit geringem Geschwindigkeitsverluste durch innere Reibung nach den polaren Regionen der Erde fortgetrieben. Sie behalten dabei die mittlere Rotationsgeschwindigkeit bei, die sie bei ihrer Erhebung in den äquatorialen Breiten besassen. Sie müssen daher bei ihrem Fortgange in höheren Schichten der langsamer rotirenden Erdoberfläche voreilen und von ihr aus betrachtet, sich in Spiralen mit abnehmender Steigung den Polen nähern. Wenn dieselben sich auf diesem Wege infolge der Verengung des oberen Strombettes schon früher dem Erdboden zuwenden, um vereint mit den aus höheren Breiten zurückströmenden Luftmassen zum Aequator zurückzukehren, so treffen sie diese und bei schnellem Niedergange den Erdboden selbst mit einer Geschwindigkeit, die sich aus ihrer wirklichen eigenen Geschwindigkeit und der Differenz zwischen ihrer Rotationsgeschwindigkeit und der des Erdbodens an der Berührungsstelle combinirt. Die Quelle, aus welcher die Stürme höherer Breiten ihre zerstörende Kraft im Wesentlichen schöpfen, ist daher das Beharrungsvermögen des Erdkörpers selbst. Damit die Rotation desselben unverändert bleibt, muss das Gesetz herrschen, dass die Beschleunigung, welche der Erdkörper durch die Geschwindigkeitsdifferenz in den höheren Breiten erleidet, durch die Verzögerung in niederen Breiten, in denen die mittlere Luftrotation kleiner ist wie die der Erdoberfläche, compensirt wird.

Es folgt unmittelbar aus diesen Betrachtungen, dass mit fortschreitender geographischer Breite die Häufigkeit und Stärke der Luftströmungen im Sinne der Erdrotation, für unsere Halbkugel also der

[1]) Angestellte Versuche, über welche ich mir nähere Mittheilungen vorbehalte, haben ergeben, dass ein Luftstrom, welcher an der Oeffnung eines senkrecht zu seiner Richtung stehenden, dünnwandigen Rohres vorbeigeht, in diesem Rohre eine der Luftgeschwindigkeit proportionale Verdünnung herbeiführt, welche innerhalb weiter Geschwindigkeitsgrenzen dem Druck einer Quecksilbersäule von 0,025 mm für jeden Meter Luftgeschwindigkeit entspricht. Ich habe, hierauf gestützt, ein Anemometer construirt, welches in sehr einfacher und wenig umständlicher Weise die Windgeschwindigkeit anzeigt. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem dünnen verticalen Rohre, welches möglichst hoch über das Dach des Hauses hinausgeführt wird. Ein im Zimmer aufgestellter einfacher Druckmesser giebt dann stets direct die Windgeschwindigkeit in Metern an.

Westwinde, in schneller Steigerung zunehmen müssen. In den arktischen Regionen selbst müssen die höchsten Schichten des Aequatorialstromes, die allein bis zu ihnen gelangen können, ohne vorher zur Umkehr gezwungen zu sein, in nordöstlich gerichteten Spiralen zum Erdboden niederströmen. Sie müssen hierdurch und durch ihr allseitiges Hinandringen zum Pole ein arktisches Druckmaximum erzeugen und nach dem Niedersinken unter Beibehaltung ihrer Geschwindigkeit als unterer Nordwest ihren äquatorialen Rückgang antreten.

Es ist daher wiederum die im äquatorialen Auftrieb gewonnene lebendige Kraft, welche die Luft auch aus den polaren Regionen zum Aequator zurücktreibt und nicht die Wirkung zweifelhafter Gradienten des Luftdruckes, die zur Erklärung der Phänomene keinenfalls ausreichen. Durch die Reibung mit der Erdoberfläche wird die südöstlich gerichtete Geschwindigkeit, mit welcher dieser Rückstrom des Aequatorialstromes überall eingeleitet wird, bald wesentlich vermindert und würde an der Erdoberfläche selbst bald gänzlich vernichtet sein, wenn nicht die höheren Luftschichten des Rückstromes sie beibehielten. Durch die in den höheren Breiten schnell vorschreitende Ausbreitung des unteren Strombettes wird nun in den mittleren, schneller in äquatorialer Richtung vorschreitenden Luftschichten eine Verdünnung erzeugt, welche auch ein Zuströmen relativ ruhiger unterer Luftschichten zu den über den indifferenten Gleichgewichtszustand hinaus verdünnten höheren bedingen. Dies Zuströmen muss aus niederen Breiten geschehen, weil in diesen die den Auftrieb bewirkende Druckdifferenz durch Ausbreitung des Strombettes eine geringere ist. Es muss mithin die Strömung an der Erdoberfläche selbst auf der nördlichen Halbkugel eine südliche Componente erhalten. Es erklärt dies, dass hier erfahrungsmässig der Südwest und nicht der Nordwest überwiegend ist, wie es in den höheren Schichten des Rückstromes der Fall sein muss.

Auch in dem bisher behandelten hypothetischen Falle der homogenen ebenen und trockenen Erdoberfläche müssten die Luftbewegungen in mittleren und höheren Breiten ganz unregelmässig und nicht sicher voraus zu bestimmen sein, da die durch Anstauungen und durch Mitführung relativ ruhender Luft durch schneller bewegte eingeleiteten und erhaltenen Maxima und Minima des Luftdruckes als Accumulatoren lebendiger Kraft des oberen Luftstromes dienen, deren Ladung und Entladung immer wieder neue Störungen des Gleichgewichtes der Atmosphäre veranlassen und auf und nieder wirbelnde Luftströme in ihr erzeugen müssen. In Wirklichkeit müssen die so ungleiche Vertheilung von Land und Meer mit dem durch sie bedingten ungleichen Feuchtigkeitsgehalte der Luft, die orographischen Verhältnisse der Erdoberfläche und die ungleiche Beschaffenheit des Bodens ausgedehnter zusammenhängender Gebiete derselben eine Kette weiterer Störungen im Gleichgewichte der Temperatur, des Druckes, des Wassergehaltes und localer

Störungen der Bewegung der über und neben einander gelagerten oder strömenden Luftschichten bilden, die eine einigermassen sichere Wetterprognose wohl für alle Zeiten verhindern wird.

Wenn auch der Wassergehalt der aufsteigenden Luft keinen sehr wesentlichen Einfluss auf die Grösse der lebendigen Kraft bewegter Luft ausübt, in welche die Energie der Sonnenstrahlung grösstentheils umgewandelt wird, so bewirkt er doch, dass die Atmosphäre ihre homogene Beschaffenheit verliert, indem in ihr abwechselnde Schichten von wärmerer und feuchterer Luft und von kälteren und wasserärmeren gebildet werden. Ein Eingehen auf den localen Einfluss dieser wechselnden Verhältnisse muss ich mir versagen, da sie dem Gebiete der auf systematische Beobachtungen gestützten Meteorologie angehören. Dasselbe gilt von dem grossen Gebiete der localen Wirbelwinde, wie sie einestheils durch örtliche Maxima und Minima auf der Erdoberfläche, anderentheils direct durch örtliche Störungen des indifferenten Gleichgewichtes hervorgerufen werden. Nur über die Dynamik der letzteren Klasse, der aufsteigenden Wirbelwinde mit verticaler Rotationsaxe, seien mir noch einige Bemerkungen gestattet.

Ich habe bereits in der schon angeführten früheren Mittheilung darauf hingewiesen, dass die in den localen Wirbelsäulen auftretenden stürmischen Luftbewegungen nicht gut durch einmalige Beschleunigung der aufsteigenden Luft durch eine vorhandene Ueberhitzung der unteren Luftschichten und den Wassergehalt derselben zu erklären sind. Ganz unzulässig erscheint es, die Luftverdünnung im Inneren der Tromben durch die Centrifugalkraft der sie umwirbelnden Luftmassen als eine Beschleunigung für dieselben in Rechnung zu ziehen. Die gebildete relative Leere kann nur in der Richtung der Axe des Wirbels saugend wirken — also entweder das Wasser heben, auf dessen Oberfläche sie rotirt, oder Luft aus den höheren Luftregionen hinabziehen. Für einen solchen niedergehenden Luftstrom im Inneren der Tornados spricht auch der im Centrum derselben oft sichtbare klare Himmel bei ruhiger Luft. Man muss annehmen, dass die lebendige Kraft der in stürmischer Geschwindigkeit zum Wirbel hin eilenden und in ihm aufsteigenden Luft in wiederholten Beschleunigungsimpulsen angesammelt ist und dass sie der grösseren Geschwindigkeit der Luft höherer Luftschichten entspringt. Man müsste sich danach einen localen Wirbelsturm so entstanden denken, dass an der Grenze eines oberen und unteren Störungsgebietes des indifferenten Gleichgewichts einer ruhenden Atmosphäre durch irgend eine locale Ursache ein Auftrieb überhitzter Luft eingeleitet wird, der die Grenze der oberen, überkühlten Luftschichten erreicht, welche die Tendenz zum Niedersinken erworben haben. Es muss sich dann ein äusserer niedergehender Strom um den aufsteigenden bilden, durch den gleich viel Luftmasse niedergeführt wird, wie der aufsteigende Strom in die Höhe führt. Wenn die Gleich-

gewichtsströmung ausgedehnte obere und untere Luftschichten umfasst, so werden die niedersinkenden Massen eine Druckvermehrung in der Umgebung des allmählich bis zum Erdboden und andererseits bis in die höchsten Luftregionen ausgedehnten Wirbels erzeugen und ihre lebendige Kraft auf immer neue überhitzte Luftmassen übertragen, die im Wirbel aufsteigen, während ein Theil des niedergehenden äusseren, in derselben Richtung rotirenden Wirbels mit dem inneren wieder aufsteigt und einen Theil seiner in den höheren Regionen gewonnenen lebendigen Kraft auf ihn überträgt. Der Lauf des Wirbelcentrums wird dann durch die Richtung der mittleren Geschwindigkeit aller den Wirbel bildenden Luftmassen vorgezeichnet und seine Dauer die der ihn hervorrufenden und unterhaltenden Störung des indifferenten Gleichgewichts der Atmosphäre sein.

Schliesslich will ich nur noch erwähnen, dass die von mir früher ausgesprochene Vermuthung, dass der Wasserdampf in gleicher Weise überkühlt werden könne, ohne zu condensiren, wie das Wasser, ohne zu gefrieren, durch neuere Untersuchungen von Robert von Helmholtz weitere Bestätigung gefunden hat. Es findet dadurch auch der auffallende Umstand seine Erklärung, dass der Auftrieb der so viel Wasserdampf enthaltenden Luft über den tropischen Meeren nicht unausgesetzten Regenfall im Gefolge hat. Man kann jetzt annehmen, dass der Wasserdampf bei Abwesenheit von Staub und Wassertheilchen die höheren Luftregionen, ohne condensirt zu werden, erreicht. Es ergiebt sich ferner, dass ein, einer Sonnenfackel vergleichbarer localer Auftrieb der die höchsten Luftregionen erreichen und ihnen Staub und Wassertheilchen zuführen muss, durch Condensation des Wasserdampfs dieser Luftschichten die gewaltigen Regenfälle herbeiführen kann, die man beobachtet hat. Auch die Wassermenge, die der Aequatorialstrom den gemässigten Zonen zuführt, findet damit ihre Erklärung.

Zur Frage der Luftströmung.

(Meteorologische Zeitschrift, December.)

1887.

Unter dem Titel „Ueber Verluste an äusserer Energie bei der Bewegung der Luft“ hat Herr Möller im Septemberhefte dieser Zeitschrift meine Abhandlung „Ueber die Erhaltung der Kraft im Luftmeere der Erde“ — welche in diesen Blättern nur in einem sehr unvollständigen Auszuge Aufnahme gefunden hat — einer abfälligen Kritik unterworfen. Als ein „Gegenstück zu meinem Vortrage“ will er „die Aufmerksamkeit auf die grossen Verluste an Energie lenken, welche die bewegte Atmosphäre erleidet“. Er meint, dass einmal der Verlust an lebendiger Kraft, der durch die Reibung der Luft am rauhen Erdboden veranlasst würde, von ebenso grosser Bedeutung für die Art der „entstehenden Circulationen“ sei, wie die Einwirkung der Erhaltung der lebendigen Kraft und deren Folgen. Diese Ansicht sucht er zunächst „durch den Gegensatz der Eigenschaften zweier über einem Continente entstandenen Depressionen, von denen die eine vorwiegend steigenden, die andere vorwiegend fallenden Strom besitzt“, zu vertreten. Es ist mir nicht verständlich, was die entwickelten Verschiedenheiten der Stromrichtungen, die durch diese verschiedenen localen Depressionen herbeigeführt werden, mit der Frage der Erhaltung der Kraft zu thun haben. Der Verfasser lässt ja die Hauptfrage: woher denn diese gewaltige Kraftansammlungen darstellenden Druckmaxima und -minima stammen, ganz unberührt. Nach der von mir vertretenen Ansicht ist das grosse Reservoir, aus welchem die Kraft geschöpft wird, welche Maxima und Minima des Luftdrucks hervorruft und zu Zeiten die stagnirenden, der Erdoberfläche nächstliegenden Luftschichten in stürmische Bewegung zu setzten vermag, in dem grossen stetigen Kreislaufe der Atmosphäre zu suchen, welcher durch die vorzugsweise Erhitzung der niederen Breiten durch die Sonnenstrahlung hervorgerufen ist und erhalten wird und der fortlaufend einen grossen Theil der äquatorialen Wärme den gemässigten und kalten Zonen zuführt. Dass die Reibung der Luft mit dem Erdkörper auf den Verlauf dieser

grossen, die ganze Atmosphäre umfassenden Strömung einen so gewaltigen Einfluss — grösser wie die Erhaltung der Kraft — ausüben sollte, muss bestritten werden. Bekanntlich findet, streng genommen, gar keine Reibung zwischen Gasen und festen Körpern statt, da die letzteren von einer fest adhärirenden, an der Luftbewegung nicht Theil nehmenden Gasschicht umschlossen sind. So wie nach Bessel's Untersuchungen eine an der Oberfläche des Pendels adhärirende Luftschicht mit dem Pendel schwingt, so haftet auch an der Erdoberfläche eine Luftschicht, welche an den Luftströmungen der Atmosphäre in unmittelbarer Nähe des Bodens gar nicht, in grösserem Abstande nur wenig Theil nimmt. Es resultirt daraus eine relativ ruhige, gleichsam stagnirende Luftschicht über dem Erdboden, deren Höhe von der Rauhheit desselben abhängt, mithin über dem Meere und grossen Ebenen niedriger ist wie über bergigen und waldigen Ländern. Diese relativ ruhige, mit dem Erdboden gleichmässig rotirende Luftschicht ist Störungen durch locale aufsteigende Ströme und durch sie hervorgerufene Wirbelbildungen in hohem Grade unterworfen, und für sie mag es richtig sein, dass der Reibungseinfluss für die eintretenden Circulationen wirksamer ist, wie die Massenträgheit, also die Erhaltung der lebendigen Kraft. Es sind aber nur verhältnissmässig kleine Kräfte, welche in solchen localen Gleichgewichtsstörungen und Wirbeln auftreten. Erst wenn die unten entstandenen Wirbel in das Gebiet der höheren continuirlichen Atmosphären-Strömung hinaufreichen und diese in ihre Bewegung mit hineinziehen, oder wenn die im Bereiche der oberen allgemeinen Strömung durch fortlaufende Verengung des Strombettes der äquatorialen und Erweiterung des Bettes der polaren Strömung hervorgerufenen Stromwendungen und Wirbel locale Druckveränderungen herbeiführen und in Folge dessen die schnellströmende Luft höherer Regionen zur Erdoberfläche hinabwirbelt, tritt ihre Massen-Trägheit daselbst als stürmische Luftbewegung in Erscheinung. Herr Möller will diese Rückwirkung der wesentlich in den höheren durch Erdoberflächen-Reibung nicht gehinderten Luftschichten verlaufenden allgemeinen Luftströmung auf die an der Oberfläche der Erde beobachteten Erscheinungen, wie es scheint, nicht zugeben — ich muss aber gestehen, dass ich die mechanische Grundlage nicht verstehe, auf welche er sie dann aufbauen will. Depressionen und Luftdruck - Maxima können doch nicht „von selbst“ entstehen. Es muss zu ihrer Bildung doch so viel lebendige Kraft verbraucht sein, wie sie unter den günstigsten Verhältnissen wieder erzeugen können. Kraftansammlungen und Luftströmungen erzeugen kann nur die Sonnenstrahlung, die zum allergrössten Theile der heissen Zone zukommt; nur daraus folgt schon, dass wir die Ursachen der Druckveränderungen und Stürme der mittleren und hohen Breiten im äquatorialen Auftriebe und nicht in localen Erscheinungen zu suchen haben.

Herr Möller beschränkt sich aber nicht darauf, den Nachweis zu versuchen, dass die Erhaltung der Kraft im Luftmeere zur Erklärung der Erscheinungen nicht erforderlich sei, er sucht in einem besonderen, „Mischung von Luftmassen“ überschriebenen, Capitel den Nachweis zu führen, dass die meinen Ansichten über die Luftcirculation zu Grunde liegende Annahme, dass die Mischung von Luftmassen verschiedener Geschwindigkeit sich nach dem Gesetze der Erhaltung der lebendigen Kraft vollziehe, falsch sei. „Die resultirende äussere Bewegung ergebe sich nach dem Gesetze des unelastischen und nicht nach dem des elastischen Stosses. Demnach müssten Luftmassen verschiedener Geschwindigkeit nach der Mischung die mittlere Massengeschwindigkeit und nicht die gleiche lebendige Kraft haben. Der Verlust an letzterer müsste sich in Wärme, Schall oder Elektricität umsetzen.“

Ich brauche hier glücklicherweise auf das dunkele Capitel des unelastischen Stosses, das sich der Aufhellung durch das Experiment schon aus dem Grunde entzieht, weil es überhaupt keine unelastischen festen Körper giebt, nicht weiter einzugehen, da eine Mischung von Luft verschiedener Geschwindigkeit in meinen Betrachtungen gar nicht vorkommt. Nach diesen ist es dieselbe unvermischte Luft, welche am Aequator beschleunigt aufsteigt, die ohne Aenderung ihrer Rotationsgeschwindigkeit in den höchsten Regionen des Luftmeeres den Polen zuströmt und die nach Massgabe der mit zunehmender Breite eintretenden Verengung ihres Strombettes im unteren, sich stetig erweiternden Strombette unter wesentlicher Beibehaltung ihrer ursprünglichen Rotationsgeschwindigkeit zum Aequator zurückkehrt. Das Bild der Mischung habe ich nur gebraucht, um die Grösse der constanten Rotationsgeschwindigkeit in einfacher Weise zu berechnen. Denn dass sie wirklich besteht, ist ja gar nicht zu bezweifeln, wenn man den Austausch der Luft in meridionalen Strömungen, wie sie in den Passaten regelmässig zur Erscheinung kommen, zugiebt. Die westliche Richtung der Passatwinde lehrt ja doch, dass die Reibung des Erdkörpers selbst nicht einmal ausreicht, den tiefsten Luftschichten die örtliche Rotationsgeschwindigkeit des Bodens zu ertheilen; es muss daher als ganz unzweifelhaft erscheinen, dass die höheren, dem Einfluss der Reibung mit der Erdoberfläche fast ganz entzogenen Luftmassen die mittlere Rotationsgeschwindigkeit, mit der sie aufstiegen, auch unverändert beibehalten. Es fehlen ja die Kräfte, um eine Aenderung derselben herbeizuführen! Meine Berechnung dieser Rotationsgeschwindigkeit des Luftmeeres ist auf der Annahme begründet, dass die meridionale Hin- und Rückströmung gleichmässig über die ganze Erdoberfläche ausgebreitet ist. In diesem Falle giebt das von mir gebrauchte Bild der Mischung die richtige mittlere Geschwindigkeit. Es ist klar, dass diese Annahme nicht streng richtig sein kann, da die Winkelgeschwindigkeit der Luft bei constanter Peripheriegeschwindigkeit in der Nähe der

Pole so gross werden müsste, dass der Luftdruck verschwindend klein würde. Die Umkehr der polaren Luftströmung muss daher schon vor Erreichung der polaren Regionen vollendet sein, und diese selbst müssen mit relativ ruhiger oder wirbelnder Luft bedeckt sein. Die mittlere Rotationsgeschwindigkeit des Luftmeeres wird daher dem Aequator etwas näher liegen, wie der von mir berechnete 35. Breitengrad.

Es ist von Herrn Möller und auch früher schon von Anderen darauf hingewiesen, dass schon Ferrel durch Rechnung gefunden hätte, dass die Atmosphäre über dem 35. Breitegrade die Rotationsgeschwindigkeit des Erdbodens hätte. Es ist das ganz richtig, aber allem Anschein nach nur ein ganz zufälliges Zusammentreffen, da die Grundlagen beider Rechnungen durchaus verschieden und nicht, wie ich selbst anfänglich annahm, aus ähnlichen Betrachtungen hervorgegangen sind. Bei Ferrel ergiebt sich die westliche Luftbewegung zwischen den 35. Breitengraden und die östliche polwärts derselben als ein Rechnungsresultat ohne Berücksichtigung von Massenträgheit und Reibung, gleichsam als ein Urzustand der Bewegung, der sich durch den Einfluss modificirender Kräfte ändern musste — während meine Berechnung den endlichen Gleichgewichtszustand ins Auge fasst.

Mit Dove nehme ich an, dass ein mächtiger Aequatorialstrom Ursache und Träger der Luftdruckveränderungen wie der Luftwirbel und Stürme der höheren Breiten ist. Als Dove seine Theorie aufstellte und mit einer vielen älteren Physikern noch erinnerlichen Wärme und Ueberzeugungstreue vertheidigte, gab es noch keine Lehre der Erhaltung der Kraft. Wenn die Theorie daher auch nur unvollkommen durchgeführt war und vielfach auf Unmöglichkeiten stiess, so hat Dove doch im „courant ascendant“ der heissen Zone den Quell entdeckt, der als Aequatorialstrom Wärme, Kraft und Wasserdampf den höheren Breiten zuführt! Es mag der jüngeren Generation von Physikern, die im Lichte der Krafterhaltungslehre aufgewachsen ist, fast wunderbar erscheinen, dass ein Dove nicht daran dachte, seine Aequatorialstromlehre durch strenge Beachtung des Beharrungsvermögens bewegter Massen von ihren Schlacken zu reinigen. Er brauchte nur seinen als Nordost-Passat aufsteigenden, und durch den ihm am Aequator den Weg versperrenden Südost-Passat beim Aufsteigen in nordwestliche Richtung gedrängten courant ascendant mit unveränderter Geschwindigkeit und Richtung seinen Weg fortsetzen lassen, so musste die geringere Rotationsgeschwindigkeit des Aequatorialstroms, die sich als Ostwind äusserte, bei Erreichung höherer Breiten mit kleinerer Rotationsgeschwindigkeit zunächst gleich und bei weiterem Vorschreiten grösser wie die Rotationsgeschwindigkeit des Bodens werden, es musste also der constante Ostwind der Tropen in den überwiegenden Westwind der gemässigten und polaren Zonen übergehen. Auch die bei der Dove'schen Theorie schwierige Frage nach der Ursache des Rückstroms zum

Aequator ohne entsprechende Druckvermehrung der höheren Breiten findet ihre Beantwortung im Beharrungsvermögen der bewegten Luft. So wie mit steigenden Breiten das Strombett des Aequatorialstroms sich continuirlich verengt, so erweitert sich im gleichen Masse das Strombett des Polarstromes; es muss bei ersterem daher eine fortlaufende Stauung mit Druckvermehrung, bei letzterem eine Ausbreitung mit Druckverminderung auftreten. Die Folge muss ein continuirlicher Uebergang von Luft des Aequatorialstroms zum Polarstrome sein, wodurch der Druckunterschied zum Theil wieder aufgehoben wird. Dieser Uebergang kann keine Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit des Aequatorialstroms hervorrufen; es muss also der Polarstrom im Wesentlichen dieselbe Rotationsgeschwindigkeit haben wie ersterer. Auch die meridionale Geschwindigkeit wird durch den Uebergang aus dem Aequatorial- in den Polarstrom unverändert bleiben, da sich dieser Uebergang in der Regel in Curven mit grossem Radius vollziehen wird. Es ist also das Beharrungsvermögen der Luft des Aequatorialstroms, welches sie im Polarstrom wieder zum Aequator treibt.

Mit diesem Wechsel der Bewegungsrichtung muss nothwendig eine Druckvermehrung nach den Polen hin verbunden sein, die aber zum Theil durch die umgekehrte Wirkung der mit der Breite zunehmenden Winkelgeschwindigkeit und die mit ihr zunehmende Neigung der Rotationsebene gegen die Schwerlinie compensirt wird.

Es ist erklärlich, dass diese Abhängigkeit aller bewegenden Factoren von einander die Luftcirculation sehr empfänglich für Störungen macht, die wohl in der Regel auf locale Gleichgewichtsstörungen in der tiefsten relativ ruhigen Luftschicht zurückzuführen sind. Wenn sich solche Gleichgewichtsstörungen zu grossen Wirbelstürmen in den oberen Luftschichten entwickeln — was durch die einander überlagernden Luftströme entgegengesetzter Richtung sehr begünstigt wird — so müssen sie in denselben mannigfache Veränderungen des Luftdruckes hervorrufen. Diese Luftveränderungen in grösseren Höhen stören ihrerseits das bestehende indifferente Gleichgewicht der Atmosphäre und werden dadurch Veranlassung zu verstärkten Luftdruckschwankungen an der Erdoberfläche, also zur Entstehung von Maximum und Minimum des Luftdrucks mit allen ihren Folgen!

Pierer'sche Hofbuchdruckerei. Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Verlag von **Julius Springer** in **Berlin N.**

Frölich, Dr. O., Die dynamoelektrische Maschine. Eine physikalische Beschreibung für den technischen Gebrauch. Mit 64 in den Text gedruckten Holzschnitten. Preis M. 8,—.

— — **Handbuch der Elektricität und des Magnetismus.** Für Techniker bearbeitet. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Holzschnitten und 2 Tafeln. Zweite vermehrte und verbesserte Auflage. Preis M. 15,—; geb. M. 16,20.

Mascart, E. u. J. Joubert, Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus. Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. Leopold Levy. In 2 Bänden. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Abbildungen. Preis M. 30,—; geb. M. 32,40.

Maxwell, J. C., Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus. Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. B. Weinstein. In 2 Bänden. Mit zahlreichen Holzschnitten und 21 Tafeln. Preis M. 26,—; geb. M. 28,40.

Siemens, Friedr., Heizverfahren mit freier Flammen-Entfaltung. Mit 6 lithographirten Tafeln. Preis M. 2,40.

— — **Bericht über die Smoke Abatement Exhibition** London, Winter 1881—1882. An das Königlich Sächsische Ministerium des Innern in dessen Auftrage erstattet. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Abbildungen. Preis M. 4,—.

Siemens, Sir William, Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart. Mit 4 lithographirten Tafeln. Preis M. 3,—.

— — **Dasselbe.** Zweite Folge. Mit einem Holzschnitt. Preis M. 2,40.

— — **Ueber die Erhaltung der Sonnen-Energie.** Eine Sammlung von Schriften und Discussionen. Aus dem Englischen übersetzt von C. E. Worms. Mit 6 in den Text gedruckten Holzschnitten und einer lithographirten Tafel. Preis M. 4,—.

— — **Ueber Brennstoff. — Ueber Gewinnung von Eisen und Stahl** durch direktes Verfahren. Mit Abbildungen in Holzschnitt. Preis M. 2,80.

Weinstein, Dr. B., Handbuch der physikalischen Maassbestimmungen. In 3 Bänden.

Erster Band. Die Beobachtungsfehler, ihre rechnerische Ausgleichung und Untersuchung. Preis M. 14,—.
Zweiter Band. Einheiten und Dimensionen, Messungen für Längen, Massen, Volumina und Dichtigkeiten. Preis M. 14,—.
Dritter Band. Messungen für Drucke und Kräfte, thermische, optische, akustische, elektrische und magnetische Maassbestimmungen. (Erscheint im Laufe des Jahres 1889.)

Zetzsche, Prof. Dr. K. Ed., Handbuch der elektrischen Telegraphie.

Erster Band. Geschichte der elektrischen Telegraphie. Bearbeitet von Dr. K. Ed. Zetzsche. Mit 335 in den Text gedruckten Holzschnitten. Preis M. 18,—.

Zweiter Band. Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus mit besonderer Berücksichtigung ihrer Beziehungen zur Telegraphie. Bearbeitet von Dr. O. Frölich. Mit 267 in den Text gedruckten Holzschnitten und einer Tafel in Lichtdruck. Preis M. 14,—.

Dritter Band. Die elektrische Telegraphie im engeren Sinne. I. Die Erfordernisse zum Telegraphiren. Bearbeitet von O. Henneberg, Dr. O. Frölich und Dr. E. Zetzsche. Mit 701 in den Text gedruckten Holzschnitten und einer Karte der Kabelverbindungen der Welt. Preis M. 25,—.

Vierter Band. Die elektrischen Telegraphen für besondere Zwecke. I. Bearbeitet von L. Kohlfürst und Dr. K. E. Zetzsche. Mit 668 in den Text gedruckten Holzschnitten und 10 statistischen Tabellen. (Vom Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen preisgekrönt.) Preis M. 25,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Messerer.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Siemens, Werner

Wissenschaftliche und technische Arbeiten

Bd.: Erster Band

1889

Phys.sp. 618 sb-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11882082-4